

**TUGAS AKHIR - TM 141585**

# **STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI TIMING INJEKSI (START OF INJECTION) TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI MESIN DIESEL 4-LANGKAH SILINDER TUNGGA BERBAHAN BAKAR CAMPURAN DEXLITE DAN ETANOL**

**QORRY ANGGA RAMADHANY**  
**NRP 2113 100 150**

**Dosen Pembimbing**  
**Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA 2017**



TUGAS AKHIR – TM141585

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH  
VARIASI TIMING INJEKSI (START OF  
INJECTION) TERHADAP UNJUK KERJA  
DAN EMISI MESIN DIESEL 4-LANGKAH  
SILINDER TUNGGAH BERBAHAN  
BAKAR CAMPURAN DEXLITE DAN  
ETANOL**

QORRY ANGGA RAMADHANY  
NRP. 2113 100 150

Dosen Pembimbing:  
Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc

PROGRAM SARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH  
NOPEMBER  
SURABAYA 2017



---

FINAL PROJECT – TM141585

**EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF  
FUEL INJECTION TIMING (START OF  
INJECTION) VARIATION TO  
PERFORMANCE AND EXHAUST GAS  
EMISSION 4-STROKE SINGLE CYLINDER  
DIESEL ENGINE USING DEXLITE-ETHANOL  
BLEND**

QORRY ANGGA RAMADHANY  
NRP. 2113 100 150

Advisory Lecturer:  
Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc

BACHELOR PROGRAM  
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH TIMING  
INJEKSI (*START OF INJECTION*) TERHADAP  
UNJUK KERJA DAN EMISI MESIN DIESEL 4-  
LANGKAH SILINDER TUNGGAL BERBAHAN  
BAKAR CAMPURAN DEXLITE DAN ETANOL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Qorry Angga Ramadhany**

NRP. 2113 100 150

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- 
1. Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc. ..... (Pembimbing)  
NIP. 196604021989031002
  2. Dr. Bambang Sudhantanta, S.T., MT. ..... (Penguji I)  
NIP. 197301161997021001
  3. Bambang Arip D., ST, M.Eng., Ph.D. ..... (Penguji II)  
NIP. 197804012002121001
  4. Ary Bachtiar K. P., ST, MT., Ph.D. ..... (Penguji III)  
NIP. 197105241997021001

**SURABAYA  
JULI, 2017**

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI TIMING  
INJEKSI (START OF INJECTION) TERHADAP  
UNJUK KERJA DAN EMISI MESIN DIESEL 4-  
LANGKAH SILINDER TUNGGA BERBAHAN BAKAR  
CAMPURAN DEXLITE DAN ETANOL**

**Nama** : Qorry Angga Ramadhany  
**NRP** : 2113 100 150  
**Departemen** : Teknik Mesin  
**Pembimbing** : Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc

**ASTRAK**

*Indonesia masih bergantung kepada penggunaan bahan bakar fosil (konvensional), khususnya pada bidang industri, transportasi, dan sistem pembangkit. Bahan bakar fosil bukan sumber energi berkelanjutan (sustainable energy), sehingga ketersediaannya terbatas. Untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mengurangi dampak buruk pada lingkungan perlu dilakukan penelitian terhadap sumber energi, terutama yang terbarukan dan ramah lingkungan. Bioethanol adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang dapat diproduksi dari tumbuhan. Sehingga penggunaan bahan bakar fosil dapat tergeser dengan adanya bahan bakar etanol ini. Tetapi, bahan bakar tumbuhan memiliki kelemahan yang mempengaruhi performa suatu mesin motor bakar, seperti Cetane Number, Caloric Value, dll. Dibutuhkan rekayasa terkait bahan bakar dan engine tersebut. Terdapat beberapa teknologi bahan bakar yang sudah diaplikasikan, salah satunya adalah etanol sebagai campuran bahan solar. Penelitian ini akan diketahui bagaimana pengaruh perubahan timing injeksi (Start of Injection) sebagai rekayasa teknologi dan bahan bakar campuran Dexlite, Etanol, dan Emulgator Tween 80 terhadap unjuk kerja mesin dan emisi bahan bakar yang dihasilkan*

*Penelitian dimulai dengan mencampurkan bahan bakar Dexlite dengan variasi prosentase Etanol 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Lalu ditambahkan emulgator sehingga campuran tersebut tidak mengalami separasi. Prosentase emulgator dalam setiap campuran Dexlite dan Etanol didapatkan dengan penelitian. Dimana setiap campuran tersebut dicoba dengan 3 variasi prosentase emulgator yaitu 10%, 5% dan 2,5%. Selanjutnya campuran bahan bakar yaitu hasil pencampuran dengan emulgator yang memiliki tingkat separasi yang paling kecil akan digunakan sebagai bahan uji coba. Lalu dilakukan pengujian pada campuran bahan bakar Dexlite dengan variasi prosentase Etanol 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%. Selanjutnya, disimpulkan campuran bahan bakar terbaik (tingkat emisi paling minimal), yang akan digunakan pada bahan bakar uji dengan variasi timing injeksi. Kemudian dilakukan uji unjuk kerja dan emisi engine dengan variasi timing injeksi (Start of Injection) yaitu 10,3° , 17° dan 23,6° BTDC.*

*Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa, Emulgator 10% digunakan pada semua campuran bahan bakar, karena waktu separasi yang lama. Dengan parameter emisi gas buang, ditentukan bahan bakar D80E20 dan D70E30 adalah yang terbaik. Lalu dengan menyeting timing injeksi (Start of Injection) pada kondisi advance 23,6° untuk bahan bakar D80E20, efisiensi thermal dan kualitas Smoke Opacity meningkat masing-masing 4,9% dan 26,6% dari D100 kondisi bahan bakar dan SOI standart. Tetapi terjadi penurunan daya, torsi dan BMEP. Untuk bahan bakar D70E30, efisiensi thermal, perbaikan Smoke Opacity, perbaikan UHC meningkat masing-masing 11,3%, 49% dan 49% dari bahan bakar dan kondisi SOI standart.*

**Keyword : Diesel, Etanol, Dexlite, Emulgator, Start of Injection, Unjuk Kerja dan Emisi**

**EXPERIMENTAL STUDY ON EFFECT OF FUEL  
INJECTION TIMING (START OF INJECTION)  
VARIATION TO PERFORMANCE AND EXHAUST  
GAS EMISSION 4-STROKE SINGLE CYLINDER  
DIESEL ENGINE USING DEXLITE-ETHANOL  
BLEND**

**Nama** : Qorry Angga Ramadhany  
**NRP** : 2113 100 150  
**Departemen** : Teknik Mesin  
**Pembimbing** : Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc

**ABSTRACT**

*Indonesia still relies on fossil fuels (conventional) specifically for the industrial, power generation and transportation systems. This dependence will further reduce the amount of oil reserves here. To reduce dependence on fossil fuel and reduce the influence of the environmental impact needs to be done diversification of energy sources, especially renewable and environmentally friendly. Climate change and global environmental issues caused by the development and use of energy is a consideration in the selection of alternative energy. Bioethanol as the alternative of sustainable energy could be produced by biological process. By the end, the dependence of fossil fuel will no more be the problem as the use of bioethanol. But, there are some weakness of the ethanol usage such as the Low of Cetane Number, caloric value and etc. So, engine needed to be upgraded, to maintain the weaknesses known. Resetting the fuel injection timing is one of the enhancement. This experiments will observe the engine performance and exhaust gas emission by timing injection variation setting applied to engine.*

*Research begins by mixing Dexlite fuels with percentage variations of 0, 10%, 20%, 30%, 40% and 50% Ethanol. Then the emulgator is added so that the mixture does not suffer separation.*

*The percentage of emulsifier in each mixture of Dexlite and Ethanol was applied to the study. Where each mixture was tried with 3 variations of percentage emulgator, 10%, 5% and 2.5%. Furthermore, the mixture of fuel which is mixing with the emulgator having the smallest separation rate will be used as the testing fuel. And then the Fuel Testing on a mixture of Dexlite fuel with percentage variation of Ethanol 0%, 10%, 20%, 30%, 40% and 50%. Further, it is concluded that the best fuel mixture (minimum emission level), which will be used on Fuel Testing with variation in injection timings. Then performed performance test and engine emission with variation of injection timing (Start of Injection) that is 10,3°, 17° and 23,6° BTDC.*

*The results of this study found that a 10% Emulgator was used on all fuel mixtures, due to the long separation time. With the emission parameters of the exhaust gas, the D80E20 and D70E30 fuel are the best. Then, by setting the Start of Injection timing in advance condition 23.6° for D80E20 fuel, the thermal efficiency and the Smoke Opacity quality increased by 4.9% and 26.6% respectively of the D100 standard fuel and SOI conditions. But there is a decrease in power, torque and BMEP. For D70E30 fuel, thermal efficiency, Smoke Opacity improvement.*

***Keyword : Diesel, Ethanol, Dexlite, Emulgator, Start of Injection, Engine Performance and Exhaust Gas Emission***



## KATA PENGANTAR

Puji syukur dihaturkan kehadiran Allah Subhanallahu WaTa'ala, hanya karena tuntunan-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan pendidikan Sarjana S-1 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtua penulis, Ibu **Sriyati** dan Bapak **Nurcahyo** yang senantiasa mendoakan, membimbing dan memberikan semua hal terbaik untuk penulis. Terimakasih karena telah menjadi seorang ibu dan bapak terbaik bagi penulis.
2. **Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc** yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
3. **Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT, Bambang Arip D, ST, M.Eng, Ph.D, Ary Bachtiar K.P, ST, MT, Ph.D** selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan kritik kepada penulis untuk Tugas Akhir ini.
4. Seluruh punggawa **Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM) FTI ITS** yang telah memberikan cerita, pengalaman hidup, dan keorganisasian yang penuh suka dan duka selama ini.
5. Kerabat "**SEPERJUANGAN DIESEL YANMAR : Arif Fadhlullah**" yang telah membantu saya untuk *survive* dalam penyelesaian Tugas Akhir.
6. **Mbek, Hambleh, Babe Toni, Adul, dan Ubed** atas semangat yang telah diberikan kepada penulis.

7. **Uyab, Uwik, Intan, Cina, Tapir, Annas, Citro** dan semua keluarga **Bengkeler'z 2013 (BEGALS)** yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah memberikan cerita, pengalaman hidup, dan keorganisasian yang penuh suka dan duka selama ini.
8. Teruntuk **Semua Keluarga Divisi Hubungan Luar LBMM** yaitu keluarga kecil dimana semua mimpi dimulai.
9. Untuk **semua teman-teman angkatan 2013** yang selalu membantu dan memberikan semangat kepada penulis. Terimakasih atas segala kritik dan saran serta motivasi yang telah kalian berikan.
10. Untuk **TEAM HURA-HURA: Abud, Ucon dan Gde** yang rela membantu memantau bahan bakar, knalpot diesel dan lampu saat pengambilan data.
11. **Teman-teman di Lab. TPBB**, yang telah menemani mengerjakan tugas akhir dalam 1 semester terakhir.
12. Segenap **dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin FTI ITS**, terima kasih atas ilmu yang disampaikan, semoga bermanfaat kedepannya bagi diri penulis dan bagi bangsa dan negara.
13. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Dengan segala keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

ASTRAK.....	i
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	5
1.3    Batasan Masalah.....	5
1.4    Tujuan Penelitian.....	6
1.5    Manfaat Penelitian.....	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1    Bahan Bakar .....	7
2.1.1    Bahan Bakar Diesel .....	7
2.1.2    Bahan Bakar Dexlite.....	10
2.1.3    Bahan Bakar Etanol .....	12
2.1.4    Pencampuran Bahan Bakar ( <i>Fuel Blend</i> ).....	13
2.2    Dasar Teori Pembakaran .....	14
2.2.1    Perhitungan Stoikometri Kebutuhan Udara .....	15
2.2.2    Pembakaran Non-Stoikometri.....	16
2.3    Dasar Teori Mesin Diesel .....	17
2.3.1    Tahapan Pembakaran Pada Mesin Diesel .....	17
2.3.2    Sistem Pemasukan Bahan Bakar.....	20
2.3.3    Unjuk Kerja Mesin Diesel .....	22

2.3.4	Emisi Gas Buang Mesin Diesel .....	25
2.4	Penelitian Terdahulu.....	28
2.4.1	Penelitian oleh Yusuf Isnaini F dkk [16] : Analisa Perfoma Motor Diesel Berbahan Bakar Komposisi Campuran Antara Minyak Tuak Dengan Minyak Diesel .....	28
2.4.2	Penelitian oleh Mingrui Wei dkk [17]: <i>Effects of injection timing on combustion and emissions in a diesel fueled with 2,5-dimethylfuran-diesel blends</i> .....	29
2.4.3	Penelitian oleh Cenk Sayin dkk [18] : <i>Effect of Injection Timing on Engine Performance and Exhaust Emission of Dual-Fuel Diesel Engine</i> .....	32
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....		35
3.1	Metode Penelitian.....	35
3.2	Peralatan Eksperimen .....	35
3.2.1	Alat Uji.....	35
3.2.2	Alat Ukur.....	37
3.3	Sistematika Penelitian.....	39
3.3.1	Tahap-tahap Penelitian .....	39
3.4	Persiapan Bahan Bakar ( <i>Fuel Blend</i> ) dan Uji Properties 41	
3.4.1	Tahap-tahap Persiapan Bahan Bakar ( <i>Fuel Blend</i> ) dan Uji Properties.....	43
3.4.2	Flowchart Persiapan Bahan Bakar ( <i>Fuel Blend</i> ) dan Uji Properties .....	45
3.5	Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi.....	45
3.5.1	Skema Alat .....	52
3.5.2	Tahap-tahap Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi .....	52
3.5.3	Flowchart Penelitian .....	55
BAB IV _HASIL DAN PEMBAHASAN .....		57

4.1	Hasil Persiapan Bahan Bakar ( <i>Fuel Blend</i> ) dan Uji <i>Properties</i> .....	57
4.1.1	Hasil Pencampuran Bahan Bakar ( <i>Fuel Blending</i> )..	57
4.1.2	Data <i>Properties</i> Bahan Bakar .....	75
4.2	Contoh Perhitungan Unjuk Kerja .....	76
4.2.1	Daya .....	77
4.2.2	Torsi .....	78
4.2.3	<i>Brake</i> Tekanan Efektif Rata-Rata ( <i>BMEP</i> ) .....	79
4.2.4	<i>Specific Fuel Consumption (SFC)</i> .....	80
4.2.5	<i>Efisiensi Thermal (<math>\eta_{th}</math>)</i> .....	81
4.2.6	<i>Air Fuel Ratio (AFR)</i> .....	82
4.3	Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Dexlite dengan Variasi Penambahan Prosentase Etanol pada Timing Injeksi ( <i>Start of Injection</i> ) Standart 17° BTDC .....	85
4.3.1	<i>Efisiensi Thermal (<math>\eta_{th}</math>)</i> .....	86
4.3.2	Torsi .....	88
4.3.3	<i>Specific Fuel Consumption (SFC)</i> .....	90
4.3.4	<i>Brake</i> Tekanan Efektif Rata-Rata ( <i>BMEP</i> ) .....	92
4.3.5	<i>Air Fuel Ratio (AFR)</i> .....	94
4.3.6	Temperatur <i>Engine</i> , Air Pendingin, Oli dan <i>Exhaust Gas</i> .....	96
4.3.7	<i>Smoke Opacity</i> .....	101
4.3.8	<i>Unburnt Hydrocarbon (UHC)</i> .....	103
4.3.9	Kadar <i>CO</i> .....	105
4.3.10	Pemilihan Bahan Bakar Uji dengan Parameter Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Terbaik .....	106

4.4	Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Dexlite-Etanol D80E20 dan D70E30 dengan Variasi Timing Injeksi ( <i>Start of Injection</i> ) .....	107
4.4.1	<i>Brake Efisiensi Thermal (<math>\eta_{th}</math>)</i> .....	108
4.4.2	Torsi .....	113
4.4.3	<i>Specific Fuel Consumption (SFC)</i> .....	119
4.4.4	Brake Tekanan Efektif Rata-Rata ( <i>BMEP</i> ) .....	124
4.4.5	<i>Air Fuel Ratio (AFR)</i> .....	130
4.4.6	Temperatur <i>Engine</i> , Air Pendingin, Oli dan <i>Exhaust Gas</i> .....	135
4.4.7	<i>Smoke Opacity</i> .....	140
4.4.8	<i>Unburnt Hydrocarbon (UHC)</i> .....	144
4.4.9	<i>Kadar CO</i> .....	148
BAB V.	KESIMPULAN DAN SARAN .....	153
5.1	Kesimpulan.....	153
5.2	Saran.....	155
DAFTAR PUSTAKA	.....	157

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tahapan pembakaran pada mesin diesel .....	18
Gambar 2. 2 Skema kerja governor mekanis-hidraulis .....	20
Gambar 2. 3 Pompa diesel.....	21
Gambar 2. 4 Grafik Daya vs SFOC pada RPM 3300 dan Grafik RPM vs Torsi Maksimum Pada Full Load .....	29
Gambar 2. 5 Grafik RPM vs Daya Maksimum dan Grafik Rpm Vs NOx .....	29
Gambar 2. 6 Efek waktu injeksi terhadap karakteristik pembakaran (tekanan, HRR dan GMT) dari (a) D0, (b) D10 dan (c) D30. ....	31
Gambar 2. 7 Efek waktu injeksi terhadap Gas Emisi CO (a). Kadar CO (b). Kadar (c). BSFC dan (d). BTE.....	33
Gambar 3. 1 Pitot Static Tube .....	37
Gambar 3. 2 Skema peralatan generator set.....	52

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil Uji LEMIGAS: Dexlite .....	11
Tabel 2. 2 Perbandingan Spesifikasi Solar dan Etanol .....	12
Tabel 3. 1 Spesifikasi Dexlite.....	41
Tabel 3. 2 Spesifikasi Ethanol .....	43
Tabel 3. 3 Matrik Rancangan Pengujian Bahan Bakar Kontrol ..	47
Tabel 3. 4 Matrik Rancangan Pengujian Bahan Bakar Uji .....	49
Tabel 3. 5 Tabel pengambilan data.....	51
Tabel 4. 1 Hasil Dokumentasi pada Bahan Bakar D90E10 .....	58
Tabel 4. 2 Hasil Dokumentasi pada Bahan Bakar D80E20 .....	61
Tabel 4. 3 Hasil Dokumentasi pada Bahan Bakar D70E30 .....	64
Tabel 4. 4 Hasil Dokumentasi pada Bahan Bakar D60E40 .....	67
Tabel 4. 5 Hasil Dokumentasi pada Bahan Bakar D50E50 .....	70
Tabel 4. 6 Data properties bahan bakar .....	76
Tabel 4. 7 Data percobaan bahan bakar D80E20 Injection Timing standart 23,67° BTDC.....	77
Tabel 4. 8 Matrik Kadar Emisi Gas .....	106



“Halaman ini sengaja dikosongkan”



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia masih bergantung kepada penggunaan bahan bakar fosil (konvensional), khususnya pada bidang industri, transportasi, dan sistem pembangkit. Bahan bakar fosil bukan sumber energi berkelanjutan (*sustainable energy*), sehingga ketersediaannya terbatas. Penggunaan secara masif dan terus menerus akan mengurangi cadangan ketersediaan bahan bakar fosil tersebut. Pada bidang industri, penggunaan bahan bakar fosil merupakan kebutuhan yang vital. Mesin diesel menggunakan bahan bakar Solar, Dexlite, dan Pertadex, yang merupakan hasil distilasi fraksi dari minyak bumi (bahan bakar fosil). Sehingga ketersediaan bahan bakar tersebut juga terbatas. Penggunaan bahan bakar fosil juga berdampak buruk bagi lingkungan. Emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar adalah salah satu penyebab utama efek rumah kaca (seperti CO, CO<sub>2</sub>, HC). Dimana energi yang diserap Bumi dipantulkan kembali dalam bentuk radiasi inframerah oleh awan dan permukaan bumi. Namun sebagian besar inframerah yang dipancarkan bumi tertahan oleh awan dan gas CO<sub>2</sub> dan gas lainnya, untuk dikembalikan ke permukaan bumi [15]. Pada akhirnya menyebabkan pemanasan global.

Untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta mengurangi dampak buruk pada lingkungan perlu dilakukan penelitian terhadap sumber energi, terutama yang terbarukan dan ramah lingkungan. Perubahan iklim dan isu-isu lingkungan global adalah pertimbangan dalam pemilihan energi alternatif tersebut. Sumber energi dari tumbuhan atau minyak nabati adalah salah satu solusi. Bioethanol adalah salah satu bentuk energi terbaharukan yang dapat diproduksi dari tumbuhan. Etanol dapat dibuat dari tanaman-tanaman yang umum, misalnya tebu, kentang, singkong, dan jagung. Dalam penggunaannya, Etanol dapat dijadikan bahan bakar utama ataupun bahan bakar campuran. Sehingga penggunaan

bahan bakar fosil dapat tergeser dengan adanya bahan bakar etanol ini. Tetapi pada dasarnya, bahan bakar tumbuhan atau minyak nabati memiliki kelemahan yang mempengaruhi performa suatu mesin, seperti *Cetane Number*, *Caloric Value*, dll. Sehingga dibutuhkan rekayasa terkait bahan bakar dan *engine* tersebut. Dimana pada akhirnya performa mesin dengan bahan bakar tumbuhan atau minyak nabati dapat melampaui bahan bakar fosil.

Riset mengenai unjuk kerja mesin diesel dengan bahan bakar campuran antara bahan bakar diesel dan etanol (*dual fuel*) sudah banyak dilakukan. Achmad Praptijanto dkk [1], melakukan penelitian bahan bakar *dual fuel*, dengan perpaduan antara Etanol dan bahan bakar solar diesel E0, E2.5, E5, E7.5 dan E10. Unjuk kerja mesin diesel disimulasikan menggunakan *Virtual Engine Simulation Tool* pada RPM 1.000-1.500 dengan pembebanan mesin 0, 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 Nm. Campuran langsung antara Etanol dan Solar menyebabkan pengurangan presentase emisi gas buang seperti CO, dan Asap. Daya yang dihasilkan mesin yang menggunakan bahan bakar solar murni (E0) lebih rendah dari pada bahan bakar E2.5-E10, khususnya pada RPM diatas 1400. Tetapi, BSFC (*Brake Spesific Fuel Consumption*) mengalami peningkatan seiring bertambahnya presentasi etanol dalam bahan bakar. M. Mofijur dkk [2], menyimpulkan bahwa penelitian-penelitian yang sudah dilakukan dengan penambahan Etanol pada Biodiesel-Solar pada Mesin Diesel secara signifikan dapat mengurangi emisi gas pembuangan seperti HC, PM, dan Asap, tetapi meningkatkan konsumsi bahan bakarnya. Penelitian lain yang dilakukan oleh B. Pbakaran [3], menyimpulkan bahwa *Brake Thermal Efficiency* (BTE) yang dihasilkan pada mesin yang berbahan bakar campuran Etanol-Solar sama dengan bahan bakar solar murni. Terjadi pengurangan emisi gas buang CO dan HC pada beban yang tinggi dan peningkatan pada beban yang rendah. Dan juga peningkatan pelepasan panas maksimum serta tekanan maksimum untuk campuran pada beban yang tinggi. Disisi lain, terjadi pengurangan

pelepasan panas maksimum serta tekanan maksimum untuk campuran pada beban yang rendah. Penelitian ini membuktikan bahwa campuran bahan bakar yang terbarukan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil tetapi diperlukan banyak optimasi lebih. Selanjutnya, terdapat penelitian yang dilakukan oleh Yanuandri Putrasari dkk [4]. Penelitian tersebut merupakan uji unjuk kerja dan analisa emisi pada Mesin Diesel 2 Silinder dengan bahan bakar Etanol-Solar (*dual fuel*). Peneliti menggunakan solar E2.5%, E5%, E7.5% dan E10%, dengan pembebanan 0, 10, 20, 30, 40, 50 dan 60 Nm. Parameter yang dianalisa ialah daya, *Brake Spesific Fuel Consumption* (BSFC), *Brake Thermal Efficiency* (BTE), suhu gas pembuangan, dan suhu oli pelumas serta emisi gas buang CO, HC dan Asap. Dari penelitian dihasilkan kesimpulan bahwa dengan penambahan presentase Etanol, daya mesin dan *Indicated Mean Pressure* meningkat serta BSFC dan suhu gas buang menurun. Tetapi suhu oli pelumas meningkat seiring dengan penambahan Etanol. Untuk emisi gas buang CO, HC dan Asap juga terjadi penurunan kadar. Ahmet Murcak dkk [5], melakukan penelitian dengan bahan bakar Diesel-Etanol yang divariasikan terhadap *Injection Timing*. Bahan bakar Diesel-Etanol dicampur dengan rasio 5%, 10%, dan 20% dari volume keseluruhan bahan bakar. Lalu, performa mesin diesel diuji pada variasi *Injection Timing* 25° - 55° CA. Didapatkan hasil, maksimum daya didapatkan pada 2400 RPM, dengan rasio bahan bakar etanol 5% dari volume keseluruhan yang diinjeksikan pada 35° CA BTDC (*Before Top Dead Centre*). Maksimum torsi didapatkan pada 1200 RPM, dengan bahan bakar 5% Etanol pada 25° CA BTDC (*Before Top Dead Centre*). *Injection Timing* yang menunjukkan maksimum daya dan torsi, merupakan hasil manipulasi (pergeseran) derajat dari derajat normal mesin diesel (bahan bakar diesel murni). Hal ini berarti, kesimpulan dari penelitian ini adalah adanya optimalisasi penggunaan bahan bakar dengan manipulasi *Injection Timing* dengan data yang dituliskan diatas.

Berdasarkan uraian diatas, penambahan Etanol pada bahan bakar diesel (Solar ataupun Biosolar) ternyata dapat mengurangi kadar emisi gas buang CO, HC dan Asap, serta dapat meningkatkan daya mesin dan *Indicated Mean Pressure*. Tetapi, etanol memiliki beberapa kelemahan, seperti angka setana yang relatif kecil, dan nilai kalor yang juga relatif kecil. Sehingga dengan angka setana yang relatif rendah, *Delay Period* pada proses pembakaran akan menjadi lebih panjang, hal ini akan menyebabkan rendahnya daya dan torsi yang dihasilkan. Ditambah dengan nilai kalor yang rendah, maka untuk konsumsi bahan bakarnya menjadi lebih tinggi. Tetapi, terdapat beberapa parameter *properties* kelebihan dari bahan bakar etanol, seperti *Latent Heat of Evaporation*, kadar C dan lain-lain. Sehingga penggunaan Etanol akan mengurangi emisi , CO, HC dan CO<sub>2</sub>. Performa mesin diesel dapat dilakukan optimasi-optimasi teknologi terkait sistem pemasukan bahan bakarnya, salah satunya dengan memanipulasi derajat timing injeksi (*Start of Injection*). Maka dari itu, penelitian ini akan menggunakan *Etanol Fuel Grade 99,6%* sebagai campuran untuk bahan bakar diesel, dan dilakukan optimasi dengan memanipulasi derajat *timing injeksi (Start of Injection)*. Bahan bakar diesel yang digunakan adalah Dexlite, bahan bakar yang diproduksi dan dipasarkan oleh PT. Pertamina di Indonesia. Penelitian akan dilakukan dengan memvariasikan derajat mulai injeksi (*Start of Injection*) pada bahan bakar Dexlite dan Etanol pada prosentase tertentu. Lalu, untuk mengurangi separasi dari percampuran tersebut, akan dilakukan penambahan emulgator Tween 80 . Unjuk kerja mesin Diesel diharapkan mampu mendapatkan performa optimum serta mendapatkan hasil pengujian emisi gas buang yang ramah terhadap lingkungan dengan penambahan Etanol dan *Start of Injection* yang tepat. Sehingga pada akhirnya, bahan bakar campuran Dexlite, Etanol dan Emulgator (Tween 80 ) dapat dijadikan solusi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan dapat menjadi sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan.



## 1.2 Perumusan Masalah

Dari permasalahan yang didapatkan, bahan bakar fosil semakin lama ketersediaannya semakin menipis, diperlukan bahan bakar terbarukan yang berasal dari alam. Tujuan akhirnya adalah untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas buang *engine* diesel yang berbahaya.

Terdapat beberapa teknologi bahan bakar yang sudah diaplikasikan, salah satunya adalah etanol sebagai campuran bahan solar. Tetapi masih perlunya rekayasa teknologi untuk mengoptimalkan teknologi bahan bakar tersebut.

Dari latar belakang permasalahan yang dibahas, maka yang menjadi permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh perubahan timing injeksi (*Start of Injection*) sebagai rekayasa teknologi pada Mesin Diesel dengan bahan bakar campuran Dexlite dengan prosentase Etanol tertentu, dan prosentase Emulgator Tween 80 tertentu, terhadap unjuk kerja mesin dan emisi bahan bakar yang dihasilkan.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Percobaan menggunakan mesin diesel satu silinder empat langkah, *Natural Aspirated*, dan *Direct Injection* Yanmar TF 55 R.
2. Bahan bakar yang digunakan adalah campuran Dexlite-Etanol dengan emulgator Tween 80, dimana Dexlite adalah produksi PT. Pertamina Tbk dan Etanol (*Non-Hydros* 99,6%) serta *Tween 80* sebagai zat emulgator.
3. Penelitian tidak membahas mengenai reaksi kimia yang terjadi antara Dexlite, Etanol dan emulgator *Tween 80*.
4. Penelitian ini tidak membahas proses instalasi *noken timing injeksi dan governor* pada variasi timing injeksi.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan timing injeksi (*Start of Injection*) sebagai rekayasa teknologi, pada mesin diesel berbahan bakar campuran Dexlite, Etanol pada prosentase tertentu, dan Emulgator *Tween 80* pada unjuk kerja mesin dan emisi bahan bakar yang dihasilkan.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu menghasilkan teknologi yang dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil yang ramah lingkungan.
2. Mendapatkan penerapan teknologi yang tepat guna meningkatkan performa mesin serta mengurangi gas emisi buang diesel *dual fuel* Dexlite-Etanol.
3. Mampu mengembangkan pemikiran dalam penemuan-penemuan teknologi bahan bakar yang dapat diperbaharui untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Bahan Bakar**

Bahan bakar adalah material dengan suatu jenis energi yang bisa diubah menjadi energi berguna lainnya. Bahan bakar dalam aplikasi mesin pembakaran memiliki 3 (tiga) jenis bentuk fisik atau wujudnya baik itu berupa padat, cair dan gas. Tapi untuk mesin pembakaran dalam, khususnya mesin diesel menggunakan 2 jenis bahan bakar yaitu cair dan gas. Walaupun bahan bakar padat seperti batu bara juga dapat digunakan, tapi sebelumnya akan diproses terlebih dahulu yang nantinya menjadi wujud gas.

##### **2.1.1 Bahan Bakar Diesel**

Mesin diesel merupakan sebuah mesin yang dirancang dengan menggunakan bahan bakar *fossil diesel* yang diperoleh dari proses destilasi pendidihan minyak mentah (*crude oil*) pada suhu 250 sampai 370 °C, Kawano [6]. Bahan bakar *fossil diesel* diklasifikasikan menjadi tiga macam dalam Nasution [7], yaitu *fossil diesel-1D*, yaitu bahan bakar untuk daerah beriklim dingin, *fossil diesel-2D*, yaitu bahan bakar untuk mesin diesel otomotif dan putaran mesin tinggi (lebih dari 1200 rpm) serta *fossil diesel-4D*, yaitu bahan bakar untuk mesin diesel stasioner putaran rendah (kurang dari 500 rpm). Bahan bakar fossil diesel-2D dikenal dengan istilah HSD (*High Speed Diesel*). Sifat fisis bahan bakar perlu diperhatikan untuk menghindari kerusakan alat dan kerugian lainnya yang mungkin timbul akibat penggunaan bahan bakar tersebut. Selain itu sifat fisis juga berpengaruh pada kualitas penyalaan.

Properti bahan bakar adalah sifat atau karakter yang dimiliki oleh suatu bahan bakar yang terkait dengan kinerja bahan bakar tersebut dalam proses atomisasi dan pembakaran. Properti umum yang perlu diketahui untuk menilai kinerja bahan bakar mesin diesel antara lain:

a. *Density, Specific Gravity dan API Gravity*

*Density* didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap *volume* bahan bakar pada suhu acuan 15°C. Sedangkan *Specific Gravity (SG)* didefinisikan sebagai perbandingan berat dari sejumlah volume minyak bakar terhadap berat air untuk volume yang sama pada suhu tertentu densitas bahan bakar, relatif terhadap air. *Specific Gravity* dinyatakan dalam persamaan:

$$SG_{\text{terhadap air}} = \frac{\text{densitas}_{\text{bahan bakar}}}{\text{densitas}_{\text{air}}}$$

Sementara hubungan nilai *Specific Gravity* dengan *API Gravity* adalah sebagai berikut :

$$API\ Gravity = \frac{141,5}{SG} - 131,5$$

b. *Viskositas*

Viskositas atau kekentalan dari suatu cairan adalah salah satu sifat cairan yang menentukan besarnya perlawanan terhadap gaya geser. Viskositas terjadi terutama karena adanya interaksi antara molekul-molekul cairan. Viskositas merupakan sifat penting dalam penyimpanan dan penggunaan bahan bakar. Viskositas memengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk *handling*, penyimpanan dan atomisasi yang memuaskan dan jika viskositas terlalu tinggi maka akan menyulitkan dalam pemompaan dan sulit untuk diinjeksi sehingga atomisasi bahan bakar menjadi tidak optimal.

c. Titik nyala bahan bakar

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat menyala dengan sendirinya sehingga pada saat memasuki ruang bakar, bahan bakar dapat menimbulkan ledakan.

d. *Pour Point*

*Pour point* atau titik tuang suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Ini merupakan indikasi yang sangat kasar untuk suhu terendah dimana bahan bakar minyak siap untuk dipompakan.

e. *Shulpur Content*

*Shulpur content* atau kandungan belerang dalam bahan bakar diesel dari hasil penyulingan sangat tergantung pada asal minyak mentah yang akan diolah. Keberadaan belerang tidak diharapkan karena sifatnya merusak yaitu apabila oksida belerang bereaksi dengan air merupakan bahan yang korosif terhadap logam di ruang bakar. Selain itu menimbulkan polusi lingkungan akibat oksidasi belerang dengan oksigen selama proses pembakaran.

f. *Distillation atau Destilasi*

Karakteristik destilasi dari bahan bakar menunjukkan kemampuan bahan bakar berubah menjadi uap pada suhu tertentu.

g. *Cetane Number*

*Cetane number* atau angka setana merupakan bilangan yang menyatakan perlambatan penyalaan (*ignition delay*) dibandingkan dengan campuran volumetris *cetane* ( $C_{16}H_{34}$ ) dan  $\alpha$ -*methylnaphthalene* ( $C_{10}H_7CH_3$ ) pada *CFR engine* pada kondisi yang sama.

h. *Calorific Value*

*Calorific value* atau nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses

pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara atau oksigen. Nilai kalor dinyatakan dalam 2 ukuran besaran, yaitu nilai kalor atas, NKA (jika air hasil pembakaran dalam phase cair) dan nilai kalor bawah, NKB (jika air hasil pembakaran dalam phase uap). Besarnya nilai kalor atas diuji dengan *bomb calorimeter*, dan nilai kalor bawah dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{NKB} = \text{NKA} - \left( \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{sample}}} \times \text{LH} \right)$$

i. *Carbon Residue*

Banyaknya deposit atau kerak pada dinding ruang bakar mengindikasikan tingginya kandungan *carbon residue* suatu bahan bakar. *Carbon residue* atau residu karbon dalam ruang pembakaran dapat mengurangi kinerja mesin, karena pada suhu tinggi karbon ini dapat membara sehingga menaikkan suhu ruang bakar.

### 2.1.2 Bahan Bakar Dexlite

Dexlite adalah bahan bakar minyak terbaru dari PT. Pertamina Tbk untuk kendaraan bermesin diesel di Indonesia. Dexlite diluncurkan pada April 2016 sebagai varian baru bagi konsumen yang menginginkan BBM dengan kualitas di atas Solar dengan *Cetane Number* minimal 48, tetapi dengan harga yang lebih murah daripada Pertamina Dex dengan *Cetane Number* minimal 53. Untuk nilai kalor bawah dari Dexlite (LHV), ialah sebesar 47.054.2 KJ/Kg. Sedangkan untuk nilai kalor atas (HHV) ialah sebesar 56.617.7 KJ/Kg. Wikipedia [8].

Peluncuran Dexlite ini diharapkan dapat mengurangi subsidi solar sebesar Rp 16 triliun yang lebih baik digunakan untuk sektor produktif seperti infrastruktur atau subsidi langsung kepada masyarakat Indonesia. Spesifikasi Dexlite dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 2. 1** Hasil Uji LEMIGAS: Dexlite

No	Parameter Uji	Unit	Hasil Uji	Batasan SNI M.Solar 48	
			DEXLIT E	Min	Max
1	Angka Setane	-	56,7	48	-
2	Index Setane	-	51,1	45	-
3	Berat Jenis pada 15°C	Kg/m <sup>3</sup>	845,7	815	670
4	Viskositas pada 40 °C	Mm <sup>2</sup> /s	2,92	2	4,5
5	Kandungan Sulfur	% m/m	0,078	-	0,3
6	Distilasi T90	°C	344,0	-	370
7	Titik Nyala	°C	65	52	-
8	Titik Tuang	°C	-3	-	18
9	Residu Karbon	% m/m	Nihil	-	0,1
10	Kandungan Air	Mm/kg	159,63	-	500
11	Kandungan FAME	% v/v	20	-	20
12	Korosi Bilah Tembaga	Merit	1a	Kelas 1	
13	Kandungan Abu	% m/m	0,001	-	0,01
14	Kandungan Sedimen	% m/m	Nihil	-	0,01
15	Bilangan Asam Kuat	Mg KOH/g	0	-	0
16	Bilangan Asam Total	Mg KOH/g	0,1	-	0,6
17	Penampilan Visual	-	Jernih dan terang	Jernih dan terang	
18	Warna	No.ASTM	1,1	-	3,0

19	Lubrisifikasi (HFRR)	Micron	236	-	460
20	Stabilitas Oksidasi - Metode Rancima nt	Jam	>48	35	-

### 2.1.3 Bahan Bakar Etanol

Ethanol termasuk dalam rantai tunggal, dengan rumus kimia  $C_2H_5OH$  dan rumus empiris  $C_2H_6O$ . Ethanol sering disingkat menjadi EtOH, dimana “Et” merupakan singkatan dari gugus etil ( $C_2H_5$ ). Ethanol dibuat dari proses fermentasi. Ethanol merupakan cairan tak berwarna, memiliki aroma yang khas dan mudah larut dengan air. Pada tahun 1990 ethanol sudah mulai digunakan sebagai bahan bakar untuk kendaraan karena selain mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan bensin ethanol juga ramah lingkungan.

Ethanol memiliki *Research Octan Number* 98-100 14 dengan AFR stokiometri 9,0. Ethanol memang memiliki angka oktan yang lebih tinggi dibanding bensin, akan tetapi nilai kalornya lebih rendah dari bensin dan solar, dimana nilai kalor atas (HHV) Ethanol (99,6%) dalam Achmad Praptijanto dkk [1] berada pada harga 29.710 kJ/kg, sedangkan untuk nilai kalor bawah (LHV) adalah 26.850 kJ/kg. Penggunaan ethanol sebagai bahan bakar belum seratus persen hal ini disebabkan karena sifat ethanol yang mudah larut dengan air menimbulkan sifat korosif terhadap material komponen mesin. Berikut adalah tabel perbandingan sifat-sifat bahan bakar solar dan ethanol.

**Tabel 2. 2** Perbandingan Spesifikasi Solar dan Etanol

No	Parameter	Unit	Nilai	
			Ethanol	Diesel
1	Massa jenis pada 20°C	Kg/m <sup>3</sup>	788	837
2	Angka Setane	-	5-8	50



3	<i>Kinematic Viscosity pada 40°C</i>	mm <sup>2</sup> /s	1,2	2,6
4	<i>Surface tension at 20 °C</i>	mm <sup>2</sup> /s	0,015	0,023
5	<i>Lower Heating Value</i>	MJ/kg	26,8	43
6	<i>Specific Heat Capacity</i>	J/Kg.°C	2100	1850
7	<i>Boiling Point</i>	-	78	180-360
8	<i>Oxygen, % weight</i>	%	34,8	0
9	<i>Latent Heat of Evaporation</i>	KJ/Kg	840	250
10	<i>Stoichiometric air-fuel ratio</i>	-	9,0	15,0
11	<i>Molecular weight</i>	-	46	170

#### 2.1.4 Pencampuran Bahan Bakar (*Fuel Blend*)

Untuk memcampur etanol dengan minyak diesel. Ada dua cara dalam memblending yaitu *emulsion* dan *solution technique*. *Solution technique* dibagi menjadi 2 yaitu mencampur minyak dengan minyak yang memiliki karakteristik yang hampir sama contohnya bensin dengan etanol atau solar dengan biodiesel dapat dilarutkan secara langsung tanpa separasi. Sedangkan bahan bakar yang karakteristiknya sangat berbeda dilakukan dengan cara memanaskan campuran bahan bakar. Kedua bahan bakar dapat larut tanpa separasi apabila temperatur dipanaskan hingga 50°C. Zuhdi dkk [9].

Emulsi adalah campuran antara partikel-partikel suatu zat cair (fase terdispersi) dengan zat cair lainnya (fase pendispersi). Dalam Rini [10], menjelaskan bahwa emulsi dibagi menjadi 2 yaitu emulsi permanen dan emulsi tidak permanen. Emulsi tidak permanen adalah pengemulsian suatu zat cair dalam jangka waktu tertentu akan terjadi separasi sedangkan emulsi permanen adalah pengemulsian suatu zat cair yang tidak akan mengalami separasi. Dalam pembuatan suatu emulsi, pemilihan emulgator merupakan faktor yang penting untuk diperhatikan karena mutu dan kestabilan suatu emulsi banyak dipengaruhi oleh emulgator yang digunakan.

Salah satu emulgator yang aktif permukaan atau lebih dikenal dengan surfaktan.

Emulsi merupakan suatu sistem yang tidak stabil. Untuk itu kita memerlukan suatu zat penstabil yang disebut zat pengemulsi atau emulgator. Tanpa adanya emulgator, maka emulsi akan segera pecah dan terpisah menjadi fase terdispersi dan medium pendispersinya, yang ringan terapung di atas yang berat. Adanya penambahan emulgator dapat menstabilkan suatu emulsi karena emulgator menurunkan tegangan permukaan secara bertahap. Adanya penurunan tegangan permukaan secara bertahap akan menurunkan energi bebas yang diperlukan untuk pembentukan emulsi menjadi semakin minimal. Artinya emulsi akan menjadi stabil bila dilakukan penambahan emulgator yang berfungsi untuk menurunkan energi bebas pembentukan emulsi semaksimal mungkin. Semakin rendah energi bebas pembentukan emulsi maka emulsi akan semakin mudah terbentuk. Tegangan permukaan menurun karena terjadi adsorpsi oleh emulgator pada permukaan cairan dengan bagian ujung yang polar berada di air dan ujung hidrokarbon pada minyak. Daya kerja emulgator disebabkan oleh bentuk molekulnya yang dapat terikat baik dalam minyak maupun dalam air. Bila emulgator tersebut lebih terikat pada air atau larut dalam zat yang polar maka akan lebih mudah terjadi emulsi minyak dalam air (M/A), dan sebaliknya bila emulgator lebih larut dalam zat yang non polar, sepertiminyak, maka akan terjadi emulsi air dalam minyak (A/M). Emulgator membungkus butir-butir cairan terdispersi dengan suatu lapisan tipis, sehingga butir-butir tersebut tidak dapat bergabung membentuk fase kontinyu. Bagian molekul emulgator yang non polar larut dalam lapisan luar butir-butir lemak sedangkan bagian yang polar menghadap ke pelarut air.

## **2.2 Dasar Teori Pembakaran**

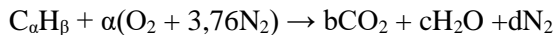
Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas dan cahaya. Bahan bakar akan terbakar sempurna hanya jika ada pasokan oksigen ( $O_2$ ) yang cukup. Jumlah

oksigen mencapai 20,9% dari udara, dan sebanyak hampir 79% merupakan nitrogen ( $N_2$ ) dan sisanya adalah elemen lain.

Nitrogen sendiri mempunyai fungsi sebagai pengencer yang menurunkan suhu yang harus ada untuk mencapai oksigen yang dibutuhkan dalam pembakaran. Nitrogen mengurangi efisiensi pembakaran dengan cara menyerap panas dari pembakaran bahan bakar dan mengencerkan gas buang. Nitrogen dapat bergabung dengan oksigen terutama pada suhu nyala yang tinggi untuk menghasilkan oksida nitrogen ( $NO_x$ ) yang merupakan pencemar udara yang beracun. Pada kondisi tertentu, karbon juga dapat bergabung dengan oksigen membentuk karbon monoksida, dengan melepaskan sejumlah kecil panas (2,430 kkal/kg karbon). Karbon terbakar yang membentuk  $CO_2$  akan menghasilkan lebih banyak panas per satuan bahan bakar daripada bila menghasilkan CO atau asap.

### 2.2.1 Perhitungan Stoikometri Kebutuhan Udara

Jika ketersediaan oksigen untuk reaksi oksidasi mencukupi, maka bahan bakar hidrokarbon akan dioksidasi secara menyeluruh, yaitu karbon dioksidasi menjadi karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan hidrogen dioksidasi menjadi uap air ( $H_2O$ ). Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran stoikiometri dan selengkapnya persamaan reaksi kimia untuk pembakaran stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon ( $C_aH_\beta$ ) dengan udara dituliskan sebagai berikut :

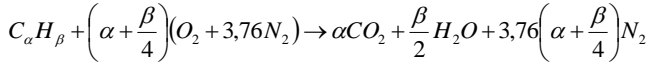


$$\text{Keseimbangan C : } \alpha = b \quad \text{Keseimbangan H : } \beta = 2c \rightarrow c = \frac{\beta}{2}$$

$$\text{Keseimbangan O : } 2a = 2b + c \rightarrow a = b + c/2 \rightarrow a = \alpha + \frac{\beta}{4}$$

$$\text{Keseimbangan N : } 2(3,76)a = 2d \rightarrow d = 3,76a \rightarrow d = 3,76(\alpha + \frac{\beta}{4})$$

Substitusi persamaan-persamaan kesetimbangan di atas ke dalam persamaan reaksi pembakaran  $C_\alpha H_\beta$  menghasilkan persamaan sebagai berikut :



Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendapatkan pembakaran stoikiometri adalah :

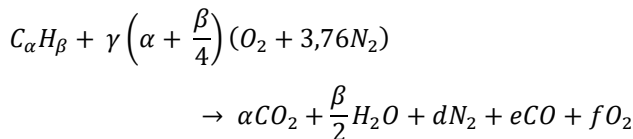
$$m_{O_2} = \frac{m_{\text{atom}} O_2}{m_{\text{mol}} C_\alpha H_\beta} \times \text{persentase } C_\alpha H_\beta \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

Stoikiometri massa yang didasarkan pada rasio udara dan bahan bakar (*air fuel ratio*) untuk bahan bakar hidrokarbon ( $C_\alpha H_\beta$ ) adalah sebagai berikut :

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{fuel}}} = \frac{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{\text{air}}}{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{\text{fuel}}} = \frac{\left(\alpha + \frac{\beta}{4}\right)\bar{M}_{O_2} + 3,76\left(\alpha + \frac{\beta}{4}\right)\bar{M}_{N_2}}{\alpha \bar{M}_C + \beta \bar{M}_H}$$

### 2.2.2 Pembakaran Non-Stoikometri

Dalam aplikasinya, mekanisme pembakaran dituntut dapat berlangsung secara cepat sehingga sistem-sistem pembakaran dirancang dengan kondisi udara berlebih., Heywood [12]. Hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kekurangan udara akibat tidak sempurnanya proses pencampuran antara udara dan bahan bakar. Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran non stoikiometri dan selengkapanya persamaan reaksi kimia untuk pembakaran non stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon ( $C_\alpha H_\beta$ ) dengan udara dituliskan sebagai berikut :



- a. Pembakaran dengan komposisi campuran stoikiometri  
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dengan kehilangan panas yang minimum. Hasil pembakaran berupa  $\text{CO}_2$ , uap air, dan  $\text{N}_2$ .
- b. Pembakaran dengan komposisi campuran miskin  
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum tetapi diikuti dengan bertambahnya kehilangan panas karena udara berlebih. Hasil pembakaran berupa  $\text{CO}_2$ , uap air,  $\text{O}_2$  dan  $\text{N}_2$ .
- c. Pembakaran dengan komposisi campuran kaya  
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang kurang maksimum karena ada bahan bakar yang belum terbakar. Hasil pembakaran berupa HC, CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{N}_2$ . Sedangkan fraksi karbon terbentuk dari reaksi sekunder antara CO dan  $\text{H}_2\text{O}$ .

Rasio udara-bahan bakar ideal untuk pembakaran dalam ruang bakar CI *engine* berada pada kisaran  $18 \leq \text{AFR} \leq 70$ .

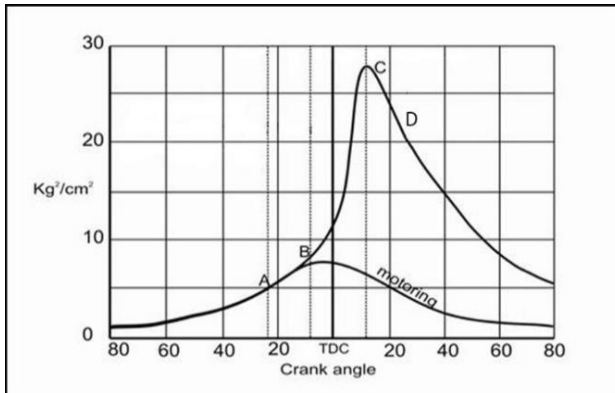
## 2.3 Dasar Teori Mesin Diesel

Motor diesel bekerja dengan menghisap udara luar murni, kemudian dikompresikan sehingga mencapai tekanan dan temperatur yang tinggi. Sesaat sebelum mencapai TMA, bahan bakar diinjeksikan dengan tekanan yang sangat tinggi dalam bentuk butiran-butiran halus dan lembut. Kemudian butiran-butiran lembut bahan bakar tersebut bercampur dengan udara bertemperatur tinggi dalam ruang bakar dan menghasilkan pembakaran.

### 2.3.1 Tahapan Pembakaran Pada Mesin Diesel

Untuk terjadinya pembakaran pada ruang bakar, ada beberapa syarat yang harus dipenuhi, antara lain : adanya campuran yang dapat terbakar, adanya sesuatu yang menyulut terjadinya pembakaran, stabilisasi dan propagasi dari api dalam ruang bakar.

Proses pembakaran pada motor diesel memiliki beberapa tahapan yang digambarkan dalam diagram P- $\theta$  seperti pada gambar 2.1. Tahapan pembakarannya yaitu :



**Gambar 2. 1** Tahapan Pembakaran pada Mesin Diesel

a. Tahap Pertama

Tahap ini disebut juga *Ignition Delay Period* yaitu area dalam rentang A-B pada Gambar 2.1. Tahapan ini merupakan periode atau rentang waktu yang dibutuhkan bahan bakar ketika saat pertama kali bahan bakar diinjeksikan (titik A) hingga saat pertamakali muncul nyala pembakaran (titik B). Artinya, selama periode tersebut tidak terjadi proses pembakaran. Panjangnya periode ini biasanya dipengaruhi oleh properties yang dimiliki bahan bakar yaitu temperatur terbakar sendiri bahan bakar, tekanan injeksi atau ukuran droplet, sudut awal injeksi, rasio kompresi, temperatur udara masuk, temperatur cairan pendingin, temperatur bahan bakar, tekanan udara masuk (*supercharge*), kecepatan/putaran mesin diesel, rasio udara-bahan bakar, ukuran mesin, jenis ruang bakar.

b. Tahap kedua

Pada tahap ini terjadi apa yang disebut *Rapid or Uncontrolled Combustion* yang maksudnya adalah periode awal

pembakaran hingga *flame* mulai berkembang yang diindikasikan oleh area B-C pada Gambar 2.1. Bahan bakar berupa droplet-droplet di selubungi oleh udara bertemperatur tinggi, sehingga panas yang diterima akan menguapkan droplet-droplet bahan bakar tersebut. Bagian terluar droplet-droplet tersebut yang lebih dulu menerima panas dan menguap kemudian terbakar. Panas yang ditimbulkan oleh pembakaran tersebut naik sangat drastis dan memicu proses yang sama pada bagian lain yang belum terbakar dengan cepat dan tidak beraturan. Proses ini menyebabkan kenaikan tekanan yang sangat besar.

c. Tahap ketiga

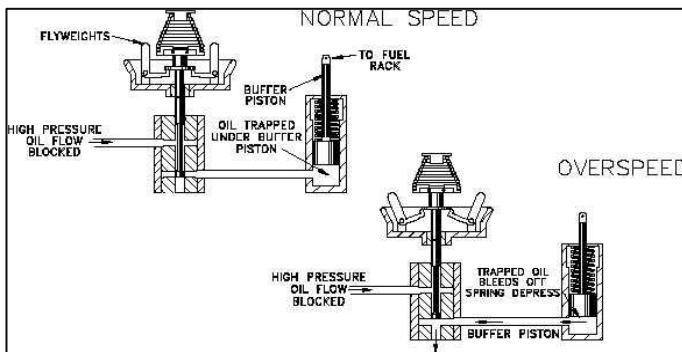
Pada tahap ini terjadi apa yang disebut *Controlled Combustion* seperti diindikasikan oleh area C-D pada Gambar 2.1, dimana bahan bakar segera terbakar setelah diinjeksikan. Hal ini disebabkan nyala pembakaran yang terjadi pada periode sebelumnya bergerak bersama menuju droplet-droplet yang baru diinjeksikan. Pembakaran dapat dikontrol dengan sejumlah bahan bakar yang diinjeksikan pada periode ini. Periode ini berakhir setelah injektor berhenti menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar.

d. Tahap keempat

Meskipun pada tahap ketiga telah selesai proses injeksi bahan bakar, kenyataannya masih ada bahan bakar yang belum terbakar seluruhnya. Dalam hal ini nyala pembakaran terus berkembang membakar bahan bakar yang tersisa pada ruang bakar. Periode ini disebut juga *after burning* yang diindikasikan oleh area setelah titik D pada Gambar 2.1. Apabila kenyataannya masih ada bahan bakar yang belum terbakar sementara piston telah bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA) untuk melakukan langkah buang, maka sisa-sisa bahan bakar tersebut akan ikut keluar bersama gas buang sebagai *unburnt fuel*.

### 2.3.2 Sistem Pemasukan Bahan Bakar

Pada mesin diesel pengaturan jumlah bahan bakar dilakukan oleh *governor*. Sistem pengendalian dengan *governor* digunakan baik pada mesin stasioner maupun mesin otomotif seperti pada mobil dan traktor. Pada mesin modern seperti saat ini mekanisme *governor* umumnya menggunakan mekanisme mekanis-hidrolik (*woodward governor*), walaupun terdapat juga versi *governor* elektrik. Gambar 2.3 menunjukkan cara kerja *governor* yang menggunakan mekanisme mekanis-hidrolik dalam pengendalian putaran mesin yang berlebihan pada mesin diesel. Dalam hal ini, *governor* mengendalikan posisi tuas pengontrol bahan bakar yang dikombinasikan dengan aksi dari *piston* hidrolik dan gerakan bandul berputar. Posisi dari bandul ditentukan oleh kecepatan putaran dari mesin, jika putaran mesin naik atau turun maka bandul berputar mekar atau menguncup. Gerakan dari bandul ini, karena perubahan putaran mesin, akan menggerakkan *piston* kecil (*pilot valve*) pada sistem hidroliknya. Gerakan ini mengatur aliran cairan hidrolik ke *piston* hidrolik (*piston motor servo*). *Piston motor servo* dihubungkan dengan tuas pengatur bahan bakar (*fuel rack*) dan gerakannya akan menyebabkan penambahan atau pengurangan jatah bahan bakar yang di-supply.

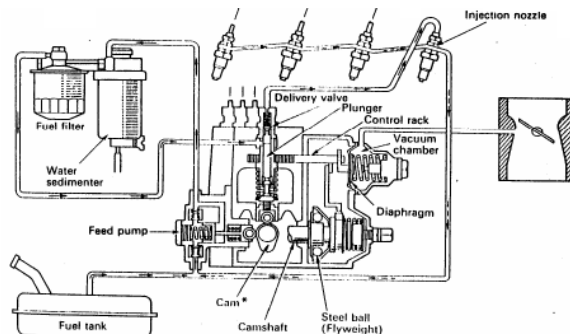


**Gambar 2. 2** Skema Kerja *Governor* Mekanis-Hidraulis



Ada empat tipe pengontrolan mesin menggunakan *governor*:

- Pertama, jika hanya satu kecepatan yang dikontrol maka digunakan tipe *governor* kecepatan tetap atau *constant-speed type governor*.
- Kedua, jika putaran mesin dapat dikendalikan beberapa tingkat secara manual melalui pengaturan dengan alat bantu, maka disebut tipe *governor* kecepatan variabel atau *variable-speed type governor*.
- Tipe ketiga ini adalah pengontrolan agar putaran mesin dapat dipertahankan di atas batas minimum atau di bawah batas maksimum, dan disebut *governor* pembatas kecepatan atau *speed limiting type governor*.
- Tipe pengontrolan keempat adalah tipe *governor* yang digunakan untuk membatasi beban mesin, dan disebut tipe *governor* pembatas beban atau *load-limiting type governor*.



**Gambar 2. 3** Pompa diesel

Pada sistem pemasukan bahan bakar, *engine* diesel menggunakan pompa untuk memasukkan bahan bakar ke ruang bakar *engine*. Bahan bakar yang berada pada *Fuel tank* dihisap menggunakan *feed pump*, lalu pompa mendorong bahan bakar ke *delivery valve* melalui *fuel filter* dan *water sedimenter*. Pada *delivery valve*, *plunger* akan bergerak membuka menutup (keatas

dan kebawah) bergantung kepada mekanisme *cam* timing injeksi. Saat *plunger* didorong *cam*, *valve* membuka lalu mendorong ke *injector* untuk disemprotkan ke ruang bakar.

### 2.3.3 Unjuk Kerja Mesin Diesel

Karakteristik operasi dan unjuk kerja dari mesin diesel biasanya berhubungan dengan:

#### 1. Daya

Daya mesin merupakan daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan. Untuk pengukuran diberikan beban lampu dengan daya 200 watt – 2000 watt. Daya yang dihasilkan pada mesin diesel yang dikopel dengan generator listrik dapat dihitung berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai daya efektif pada generator ( $Ne$ ). Hubungan tersebut dinyatakan dengan rumus:

$$Ne = \frac{V \times I \times \cos \phi}{\eta_{generator} \times \eta_{transmisi}} (Watt)$$

Dimana :

- $Ne$  : Daya mesin (W)
- $V$  : Tegangan listrik (Volt)
- $I$  : Arus listrik (Ampere)
- $\eta_{gen}$  : Effisiensi mekanisme generator (0,9)
- $\eta_{trasm}$  : Effisiensi transmisi (0,95)
- $\cos \theta$  : Faktor daya listrik ( $\cos \phi$ ) = 1

#### 2. Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil pembagian daya dalam satu menit dengan putaran mesin (rpm) sehingga memiliki satuan Nm (SI) atau *ft.lb* (British). Dalam prakteknya, torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu berkendara, ataupun terperosok. Momen torsi dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$Mt = \frac{60000 \times Ne}{2\pi n} (N.m)$$

Dimana:

$Mt$  : Torsi ( $N.m$ )  
 $Ne$  : Daya (W)  
 $n$  : Putaran mesin (rev/min)

Dari persamaan tersebut, torsi sebanding dengan daya yang diberikan dan berbanding terbalik dengan putaran mesin. Semakin besar daya yang diberikan mesin, maka torsi yang dihasilkan akan mempunyai kecenderungan untuk semakin besar. Semakin besar putaran mesin, maka torsi yang dihasilkan akan semakin kecil.

### 3. Brake Tekanan Efektif Rata-Rata ( $bme_p$ )

Proses pembakaran campuran udara-bahan bakar menghasilkan tekanan yang bekerja pada piston sehingga melakukan langkah kerja. Besarnya tekanan ini berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut dikatakan sebagai kerja per siklus per volume langkah piston. Tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif.

Perumusan  $bme_p$  adalah :

$$bme_p = \frac{Ne \times Z \times 60}{A \times l \times n \times i} (N/m^2)$$

Dimana:

$Ne$  : Daya poros mesin (Watt)  
 $A$  : Luas penampang piston ( $m^2$ )  
 $l$  : Panjang langkah piston (m)  
 $i$  : Jumlah silinder

- $n$  : putaran mesin diesel (rpm)  
 $z$  : 1 (mesin 2 langkah) atau 2 (mesin 4 langkah)

#### 4. *Specific Fuel Consumption (SFC)*

*Specific fuel consumption (Sfc)* adalah jumlah bahan bakar yang dipakai mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 (satu) *hp* selama 1 (satu) jam. Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar  $m$  (kg) dalam waktu  $s$  (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar  $bhp$  (*HP*) maka pemakaian bahan bakar perjam  $m_{bb}$  adalah :

$$\dot{m}_{bb} = \frac{m_{bb}}{s} (kg)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$sfc = 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{Ne} \left( \frac{kg}{kW \cdot jam} \right)$$

#### 5. Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{\text{Daya efektif yang dihasilkan}}{\dot{m} \text{ bahan bakar} \times LHV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

Dimana *LHV* bahan bakar adalah nilai kalor bawah (*Lower Heating Value, LHV*) atau panas pembakaran bawah bahan bakar [*Kcal/kg* bahan bakar]. Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. *LHV* dapat dinyatakan dengan rumus empiris (bahan bakar solar) sebagai berikut:

$$LHV = [16280 + 60(API)] \text{ Btu/lb}$$

dimana:

$$1 \text{ Btu/lb} = 2,326 \text{ kJ/kg}$$

$$1 \text{ kJ/kg} = \left[ \frac{1}{4187} \right] \text{ kkal/kg}$$

*API Gravity* adalah suatu pernyataan yang menyatakan densitas dari suatu material. *API Gravity* diukur pada temperatur minyak bumi 60°F. Harga *API Gravity* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$API = \frac{141,5}{\text{Spesific Gravity pada } 60^{\circ}\text{F}} - 131,5$$

Dimana *specific gravity* untuk bahan bakar mesin diesel adalah 0,84.

### 2.3.4 Emisi Gas Buang Mesin Diesel

Bahan pencemar (Polutan) yang berasal dari gas buang dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori sebagai berikut:

#### 1. Sumber

Polutan dibedakan menjadi Polutan primer dan sekunder. Polutan primer seperti nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) dan hidro-karbon (HC) langsung dibuang ke udara bebas dan mempertahankan bentuknya seperti pada saat pembuangan. Polutan sekunder seperti ozon ( $\text{O}_3$ ) dan peroksiasetil nitrat (PAN) adalah polutan yang terbentuk di atmosfer melalui reaksi fotokimia atau oksidasi.

#### 2. Komposisi Kimia

Polutan dibedakan menjadi organik dan inorganik. Polutan organik mengandung karbon dan *hydrogen*, juga beberapa elemen seperti oksigen, nitrogen, sulfur atau fosfor. Contohnya hidrokarbon, alkohol, ester dan lain-lain. Polutan inorganik seperti karbon monoksida (CO), karbonat, nitrogen oksida, ozon dan lain-lain.

### 3. Bahan penyusun

Polutan dibedakan menjadi partikulat atau gas. Partikulat dibagi menjadi padatan, dan cairan seperti debu, asap, abu, kabut dan spray. Partikulat dapat bertahan di atmosfer sedangkan Polutan berupa gas tidak bertahan di atmosfer dan bercampur dengan udara bebas.

#### a. Partikulat

Polutan partikulat yang berasal dari kendaraan bermotor umumnya merupakan fasa padat yang terdispersi dalam udara dan magnetik asap. Fasa padatan tersebut berasal dari pembakaran tidak sempurna bahan bakar dengan udara sehingga terjadi tingkat ketebalan asap yang tinggi. Selain itu partikulat juga mengandung timbal yang merupakan bahan aditif untuk meningkatkan kinerja pembakaran bahan bakar pada mesin kendaraan. Apabila butir-butir bahan bakar yang terjadi pada penyemprotan ke dalam silinder motor terlalu besar atau apabila butir-butir berkumpul menjadi satu maka akan terjadi dekomposisi yang menyebabkan terbentuknya karbon-karbon padat atau angus. Hal ini disebabkan karena pemanasan udara yang bertemperatur tinggi tetapi penguapan dan pencampuran bahan bakar dengan udara yang ada didalam silinder tidak dapat berlangsung sempurna terutama pada saat-saat dimana terlalu banyak bahan bakar disemprotkan yaitu pada waktu daya motor akan diperbesar misalnya untuk akselerasi maka terjadinya angus itu tidak dapat dihindarkan. Jika angus yang terjadi itu terlalu banyak maka gas buang yang keluar dari gas buang motor akan berwarna hitam.

#### b. UHC (*Unburned Hidrocarbon*)

Hidrokarbon yang tidak terbakar dapat terbentuk tidak hanya karena campuran udara bahan bakar yang gemuk, tetapi bisa saja pada campuran kurus bila suhu pembakarannya rendah dan lambat serta bagian dari dinding ruang pembakarannya yang dingin dan agak besar. Motor memancarkan banyak hidrokarbon jika baru

saja dihidupkan atau berputar bebas atau pemanasan. Pemanasan dari udara yang masuk dengan menggunakan gas buang meningkatkan penguapan dari bahan bakar dan mencegah pemancaran hidrokarbon. Jumlah hidrokarbon tertentu selalu ada dalam penguapan bahan bakar ditangki bahan bakar dan dari kebocoran gas yang melalui celah antara silinder dari torak masuk kedalam poros engkol yang disebut dengan *blow by gasses* (gas lalu). Pembakaran tak sempurna pada kendaraan juga akan menghasilkan gas buang yang mengandung hidrokarbon. Hal ini pada motor diesel terutama disebabkan oleh campuran lokal udara bahan bakar tidak dapat mencapai batas mampu bakar.

#### c. Carbon Monoksida (CO)

Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Gas ini akan dihasilkan bila karbon yang terdapat dalam bahan bakar (kira-kira 85% dari berat dan sisanya hidrogen) terbakar tidak sempurna karena kekurangan oksigen. Hal ini terjadi bila campuran udara bahan bakar lebih gemuk daripada campuran stoikiometris dan terjadi selama *idling* pada beban rendah atau pada output maksimum. Karbon monoksida tidak dapat dihilangkan jika campuran udara bahan bakar gemuk, bila campuran kurus karbon monoksida tidak terbentuk.

#### d. Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)

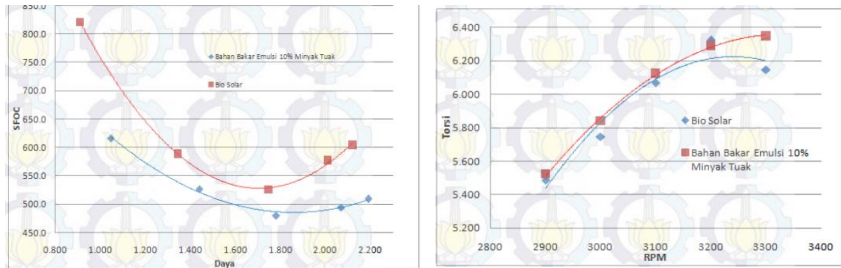
Senyawa nitrogen oksida yang sering menjadi pokok pembahasan dalam masalah polusi udara adalah NO dan NO<sub>2</sub>. Kedua senyawa ini terbuang langsung ke udara bebas dari hasil pembakaran bahan bakar. Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Gas NO merupakan gas yang berbahaya karena mengganggu syaraf pusat. Gas NO terjadi karena adanya reaksi antara ion – ion N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>

## **2.4 Penelitian Terdahulu**

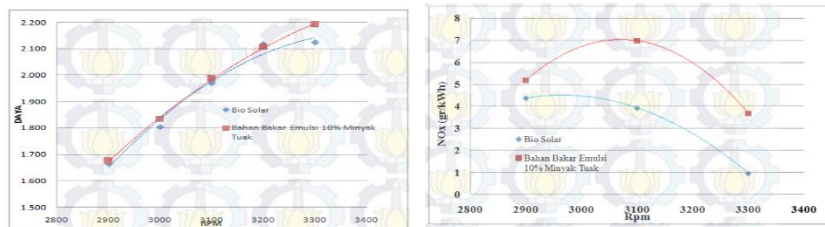
### **2.4.1 Penelitian oleh Yusuf Isnaini F dkk [16] : Analisa Performa Motor Diesel Berbahan Bakar Komposisi Campuran Antara Minyak Tuak Dengan Minyak Diesel**

Solar merupakan salah satu jenis minyak bumi yang berasal dari fosil dan diperkirakan akan habis dalam jangka beberapa tahun kedepan. Selain itu, solar juga melepaskan nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) yang menyebabkan pencemaran udara. Untuk mengantisipasi semakin menipisnya cadangan minyak bumi dan semakin meningkatnya pencemaran udara, dilakukan upaya penelitian terhadap bahan bakar alternatif. Penelitian ini mendiskusikan secara detail tentang perbandingan antara bio solar dengan bahan bakar emulsi 10% minyak tuak melalui proses pengujian performa motor diesel yang meliputi torsi, daya dan kebutuhan bahan bakar spesifik serta kadar nilai yang terkandung dalam kedua bahan bakar dan disesuaikan dengan standar nilai dari IMO (International Marine Organization) yang tertera dalam MARPOL Annex IV Regulation 13. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa terhadap performa motor bahan bakar emulsi 10% minyak tuak lebih baik dibandingkan bio solar sedangkan terhadap pengujian bio solar lebih baik dari pada emulsi 10% minyak tuak dan dari standart IMO kedua bahan bakar ini masih memenuhi toleransi berat . Dan hasil dari penelitian dapat dilihat sebagai berikut:





**Gambar 2. 4** Grafik Daya vs SFOC pada RPM 3300 dan Grafik RPM vs Torsi Maksimum Pada Full Load

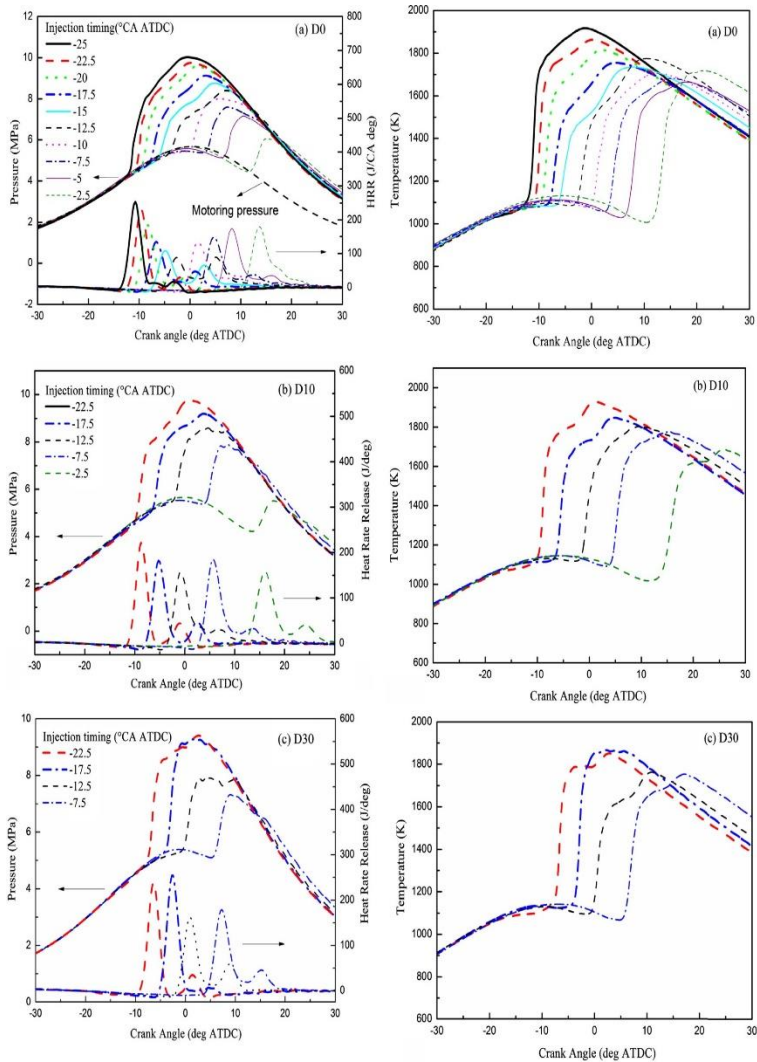


**Gambar 2. 5** Grafik RPM vs Daya Maksimum dan Grafik Rpm Vs NOx

#### 2.4.2 Penelitian oleh Mingrui Wei dkk [17]: *Effects of injection timing on combustion and emissions in a diesel fueled with 2,5-dimethylfuran-diesel blends*

Studi eksperimental dilakukan pada mesin diesel empat silinder ditambah 0%, 10% dan 30% 2,5 dimethylfuran (DMF). Karakteristik pembakaran, emisi nitrat oksida (NOx) dan partikulat (PM) pada waktu injeksi bahan bakar yang berbeda diukur dan dibahas dengan baik, terutama distribusi ukuran partikel (PSD), jumlah partikel dan konsentrasi massa. Hasilnya menunjukkan bahwa waktu tunda penyalaan diperpanjang dengan penambahan DMF lebih lanjut, efisiensi thermal (BTE) ditingkatkan, dan konsumsi bahan bakar khusus setara dengan bahan bakar diesel (BSFC) berkurang. Menarik untuk dicatat bahwa tekanan silinder

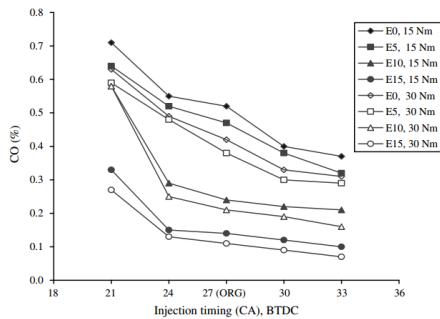
maksimum sedikit meningkat dengan penambahan DMF 10% di bawah semua kondisi mesin yang dipelajari, namun yang memiliki DMF 30% lebih kompleks. Untuk emisi PM, partikel yang dipancarkan oleh mesin didominasi oleh partikel mode nukleasi (NM) tanpa memperhatikan waktu injeksi dan penambahan DMF. Waktu injeksi memiliki efek berbeda pada PSD karena karakteristik pembakaran yang berbeda. Penambahan DMF menurunkan jumlah partikel mode akumulasi (AM) namun meningkatkan jumlah NM, yang mungkin lebih berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Diameter rata-rata geometrik (GMD) partikel juga menurun dengan penambahan DMF karena peningkatan jumlah NM. Hubungan trade-off antara dan jelaga dapat dipecahkan sedikit saat mesin berbahan bakar DMF-diesel di bawah waktu injeksi yang sesuai.



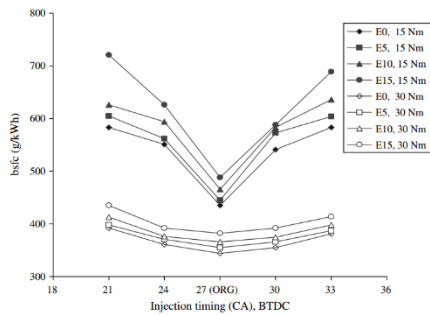
**Gambar 2. 6** Efek waktu injeksi terhadap karakteristik pembakaran (tekanan, HRR dan GMT) dari (a) D0, (b) D10 dan (c) D30.

### 2.4.3 Penelitian oleh Cenk Sayin dkk [18] : *Effect of Injection Timing on Engine Performance and Exhaust Emission of Dual-Fuel Diesel Engine*

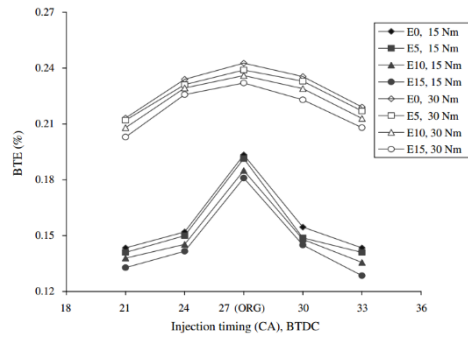
Dalam penelitian ini, pengaruh waktu injeksi terhadap performa mesin dan emisi gas buang pada mesin diesel *natural aspirated*, silinder tunggal telah dilakukan eksperiment. Experiment ini menggunakan etanol dan bahan bakar diesel campuran dari 0% sampai 15% dengan kenaikan 5%. Beban mesin yang digunakan adalah 15 dan 30 Nm. Tes dilakukan pada lima timing injeksi berbeda (21, 24, 27, 30 dan 33 CA BTDC). Didapatkan hasil uji kerja dan emisi sebagai berikut:



(A)



(B)



(C)

**Gambar 2. 7** Efek waktu injeksi terhadap (A). Kadar CO (B). BSFC dan (C). BTE

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Metode Penelitian**

Pengujian dilakukan secara ekperimental pada diesel *engine constant speed*. Pengujian dilakukan pada mesin sebagai alat uji dengan poros utama yang telah terkopel langsung dengan *electrical generator* sebagai *electrical dynamometer*. Pengujian dilakukan di Workshop Lab TPBB Gedung Teknik Mesin ITS.

### **3.2 Peralatan Eksperimen**

Selama melakukan eksperimen ini, digunakan alat-alat uji dan alat-alat ukur sebagai berikut;

#### **3.2.1 Alat Uji**

Alat uji yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Mesin diesel dengan spesifikasi:
  - Merk : Yanmar
  - Model : TF 55 R
  - Kerja mesin : 4 langkah
  - Sistem pembakaran : *direct injection*
  - Jumlah silinder : 1 silinder
  - Saat pengabutan : 17° sebelum TMA
  - Diameter x panjang langkah : 75 x 80 (mm)
  - Volume silider : 353 (cc)
  - Daya kontinu : 4,5/2200 (hp/rpm)
  - Daya maksimum : 5,5/2200 (hp/rpm)
  - Perbandingan kompresi : 17.9:1
  - Pompa bahan bakar : Tipe Bosch
  - Tekanan injektor : 200 kg/cm<sup>2</sup>

- Sistem pelumasan : pelumas paksa
- Kapasitas minyak pelumas : 1,8 liter
- Kapasitas tangki bahan bakar : 7,1 liter
- Jenis minyak pelumas : SAE 40 CC/CD
- Sistem pendingin : Radiator

#### Dimensi mesin

- Panjang : 607,5 (mm)
- Lebar : 311,5 (mm)
- Tinggi : 469,0 (mm)

#### 2. Generator listrik/*electrical dynamometer* dengan spesifikasi:

- Merk : Noqiwa
- Model : ST-3
- Frekuensi (Hz) : 50
- RPM : 1500
- *Voltage* (V) : 220
- *Phase* : 1
- Base (kW) : 3
- Ev Volt (V) : 42
- Ex Curr (A) : 2

#### 3. Beban Listrik.

Beban lampu terdiri atas lampu pijar sebanyak 10 buah dengan konsumsi daya masing-masing lampu sebesar 200 Watt. Lampu-lampu tersebut disusun secara paralel dengan masing-masing lampu dilengkapi dengan tombol stop/kontak untuk pengaturan beban bahan bakar yang akan diuji (Dexlite-Etanol dengan Emulsi).



### 3.2.2 Alat Ukur

Adapun alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data percobaan adalah sebagai berikut:

1. Pipet volumetrik

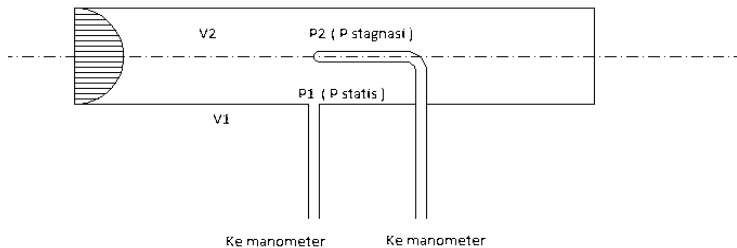
Alat ini digunakan untuk mengukur jumlah bahan bakar *biodiesel* yang dikonsumsi oleh mesin diesel.

2. Stopwatch

Alat ini digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan mesin diesel untuk mengkonsumsi bahan bakar *biodiesel*.

3. *Pitot static tube* dan *Pressure Manometer Digital*

Alat ini dipergunakan untuk mengukur jumlah udara pembakaran mesin diesel.



**Gambar 3. 1** Pitot Static Tube

*Pitot tube with static wall pressure tap* dihubungkan dengan *pressure manometer* untuk mengetahui besarnya perbedaan tekanan yang terjadi antara tekanan stagnansi dan statis. Lalu digunakan persamaan *Bernoulli* sebagai berikut :

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2} + gz_0 = \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1$$

Dimana :

- $P_0$  : Tekanan stagnasi (pada titik 0) (Pa)
- $P_1$  : Tekanan statis (pada titik 1) (Pa)
- $\rho$  : Massa jenis fluida yang mengalir (kg/m<sup>3</sup>)
- $V_1$  : Kecepatan di titik 1 (m/s)
- $V_0$  : Kecepatan di titik 0, kecepatan pada titik stagnasi = 0 m/s

Dengan mengasumsikan  $\Delta_z = 0$  maka persamaan menjadi :

$$\frac{V_1^2}{2} = \frac{P_0 - P_1}{\rho}$$

Untuk mencari kecepatan udara yang masuk kedalam ruang bakar dari persamaan diatas menjadi:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(P_0 - P_1)}{\rho_{udara}}}$$

Dimana :

$P_0 - P_1$  = Didapatkan dari pembacaan *Pressure Manometer Digital*

namun  $V_1$  merupakan kecepatan maksimal, terlihat dari profil kecepatan aliran pada *internal flow*. Hal ini dikarenakan posisi pitot berada pada *centerline* pipa. Sehingga perlu dirubah menjadi *average velocity* ( $\bar{V}$ ) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\bar{V}}{V_{max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

Dimana:

- $\bar{V}$  : Kecepatan rata – rata (m/s)
- $V_{max}$  : Kecepatan maksimal dari profil kecepatan aliran.
- $n$  : *variation of power law exponent.*

Yang di rumuskan sebagai berikut:

$$n = -1,7 + 1,8 \log Re_{V_{max}}$$

untuk  $Re_{V_{max}} > 2 \times 10^4$  (aliran turbulen).

Sedangkan untuk aliran laminar dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$V_{max} = 2\bar{V}$$

4. Amperemeter dan Voltmeter

Alat ini digunakan untuk mengukur arus listrik (I) dan tegangan listrik (V) yang terjadi akibat pemberian beban pada generator listrik.

5. Tachometer digital

Alat ini digunakan untuk mengukur putaran *engine*.

6. Gas Analyzer

Alat ini digunakan untuk mengetahui kadar gas emisi yang dihasilkan oleh Mesin Diesel. Gas Analyzer yang digunakan adalah STAR GAS 898.

7. Thermocouple, Thermo Selector dan Display

Thermocouple terpasang langsung pada *engine* sebagai sensor thermal, lalu pembacaan tempraturenya ditampilkan melalui *thermo selector* dan *display*.

### 3.3 Sistematika Penelitian

#### 3.3.1 Tahap-tahap Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan perumusan masalah.

2. Studi literature, yang bertujuan untuk mendapatkan berbagai informasi dan data yang berkaitan dengan objek penelitian.
3. Mempersiapkan alat uji, meliputi;
  - a. Membuat kerangka dudukan *engine* dan generator.
  - b. Memasang *engine* dan generator pada kerangka dudukan.
  - c. Memasang *belt* penghubung *engine* dan generator.
  - d. Melakukan Tune-Up pada *Engine*, seperti pemeriksaan baut, sistem pemasukan bahan bakar, air pendingin, oli mesin, saringan udara, saluran *exhaust* dan penyetelan klep.
  - e. Menghubungkan generator ke *electric dynamometer*.
  - f. Mengoperasikan *engine* untuk mengetahui *engine* berfungsi dengan baik dan normal.
4. Mempersiapkan alat ukur, meliputi;
  - a. Memastikan setiap peralatan (voltmeter, tachometer, thermometer, dan stopwatch) memiliki *power supply* (baterai kering) yang cukup.
  - b. Mengatur skala alat ukur sesuai kebutuhan.
  - c. Memasang kabel-kabel *thermocouple* pada tempat yang akan diukur suhunya, lalu diinstalali pada *thermo selector* dan *display*.
  - d. Memasang *clampmeter* (voltmeter) pada bagian *input electric dynamometer*.
5. Mempersiapkan bahan bakar (**pada point 3.4**).
6. Uji properties bahan bakar (**pada point 3.4**).
7. Melakukan pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang *engine* diesel (**pada point 3.5**).
8. Pengolahan data, yaitu dengan melakukan perhitungan data hasil pengujian pada langkah 7, yang meliputi daya, torsi, BMEP, SFC, efisiensi thermal dan AFR.

9. Data dan hasil pengolahan data pada langkah 7 dan 8 disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Daya, torsi, BMEP, SFC, temperatur gas buang, temperatur pendingin, temperatur oli, temperatur mesin, efisiensi thermal, kadar partikulat (*soot*), kadar UHC (*Unburned Hydro Carbon*), dan kadar CO terhadap beban dan variasi timing injeksi (*Start of Injection*) yang berbeda (variasi *Start of Injection* 23,67°, 17°, dan 10,3°) disajikan untuk mempermudah analisa.

### 3.4 Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan Uji Properties

Pada eksperimen ini digunakan campuran bahan bakar Dexlite dan Ethanol (30%) dengan emulsi *Tween 80* dengan prosentase terbaik. Penambahan emulsi *Tween 80* dimaksudkan agar pencampuran antara Dexlite dan Etanol dapat terjadi secara homogen dalam waktu yang relatif lama.

Dalam experiment ini digunakan bahan bakar Dexlite yang diproduksi oleh PT. Pertamina Indonesia dengan spesifikasi;

**Tabel 3. 1** Spesifikasi Dexlite

No	Parameter Uji	Unit	Hasil Uji	Batasan SNI M.Solar 48	
			DEXLITE	Min	Max
1	Angka Setane	-	56,7	48	-
2	Index Setane	-	51,1	45	-
3	Berat Jenis pada 15°C	Kg/m <sup>3</sup>	845,7	815	670
4	Viskositas pada 40 °C	Mm <sup>2</sup> /s	2,92	2	4,5
5	Kandungan Sulfur	% m/m	0,078	-	0,3
6	Distilasi T90	°C	344,0	-	370

7	Titik Nyala	°C	65	52	-
8	Titik Tuang	°C	-3	-	18
9	Residu Karbon	% m/m	Nihil	-	0,1
10	Kandungan Air	Mm/kg	159,63	-	500
11	Kandungan FAME	% v/v	20	-	20
12	Korosi Bilah Tembaga	Merit	1a	Kelas 1	
13	Kandungan Abu	% m/m	0,001	-	0,01
14	Kandungan Sedimen	% m/m	Nihil	-	0,01
15	Bilangan Asam Kuat	Mg KOH/g	0	-	0
16	Bilangan Asam Total	Mg KOH/g	0,1	-	0,6
17	Penampilan Visual	-	Jernih dan terang	Jernih dan terang	
18	Warna	No.AST M	1,1	-	3,0
19	Lubrisifikasi (HFRR)	Micron	236	-	460
20	Stabilitas Oksidasi - Metode Rancimat	Jam	>48	35	-

Sedangkan untuk Ethanol, digunakan *Fuel Grade Ethanol* 99,6% (*Unhydros Ethanol*). Berikut adalah spesifikasi dari Ethanol yang akan digunakan;

Emulgator yang digunakan adalah *Tween 80*, Tween 80 merupakan sebuah pelarut laboratorium yang umum dan memiliki kelarutan terbatas di dalam air dan etanol, sehingga sering digunakan untuk ekstraksi cair-cair. Nurmiati [14]

**Tabel 3. 2** Spesifikasi Ethanol

No	Parameter	Unit	Nilai
1	Massa jenis 20°C	Kg/m <sup>3</sup>	788
2	Angka Setane	-	5-8
3	<i>Kinematic Viscosity</i> 40°C	Mm <sup>2</sup> /s	1.2
4	<i>Lower Heating Value</i>	MJ/kg	26,8
5	<i>Spesific Heat Capacity</i>	J/Kg.°C	2100
6	<i>Oxygen, % weight</i>	%	34,8
7	<i>Latent Heat of Evaporation</i>	KJ/Kg	840

Tween-80 (Dirjen POM, 1979)

Nama lain : Polisorb-80

Nama resmi : POLYSORB-80

Pemerian : Cairan kental seperti minyak, jernih dan kuning, bau asam lemak khas.

Kelarutan : Mudah larut dalam air, dalam etanol (95%) P, dalam etil asetat P, dan dalam metanol P, sukar larut dalam parafin dan minyak biji.

Penyimpanan : Dalam wadah tertutup rapat

Kegunaan : Sebagai surfaktan

### **3.4.1 Tahap-tahap Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan Uji Properties**

Adapun tahapan dalam mempersiapkan bahan bakar uji adalah sebagai berikut;

1. Mempersiapkan alat yang akan digunakan, meliputi gelas flask, gelas beaker, Erlenmeyer, dan *test tube*.
2. Mempersiapkan 100 ml bahan bakar yang akan dicampurkan dengan emulgator, yaitu campuran Dexlite dan 10% Etanol, Dexlite dan 20% Etanol, Dexlite dan 30% Etanol serta Dexlite dan 40% Etanol. Masing-masing campuran disediakan pada 3 gelas flask.
3. Lalu campurkan Tween 80 pada gelas flask, sebanyak 10% untuk gelas flask pertama, 5% untuk gelas flask

kedua dan 2,5% untuk gelas flask ketiga. Prosentase Emulgator merupakan prosentase dari 100 ml campuran flask Dexlite dan Ethanol.

4. Kocok gelas flask secukupnya sampai menyampur dengan rata.
5. Lalu pindahkan campuran Dexlite-Etanol-Tween 80 kedalam *test tube*.
6. Amati perubahan campuran bahan bakar tersebut, terkait tingkat separasi yang terjadi.
7. Dokumentasikan waktu kapan campuran mulai mengalami separasi.
8. Campuran bahan bakar dengan tingkat separasi yang paling kecil dan bertahan paling lama akan digunakan sebagai bahan bakar uji.
9. Uji properties bahan bakar uji, pengujian akan dilakukan di Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi. Bahan bakar akan diuji beberapa properties, meliputi massa jenis, viskositas dan Cetane Index.



### 3.4.2 Flowchart Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan Uji Properties



### 3.5 Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi

Dalam experiment ini dilakukan pembagian kelompok pembagian, pembagian kelompok adalah sebagai berikut;

Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang, bahan bakar Dexlite dengan variasi penambahan Etanol pada timing injeksi (*Start of Injection*) standart 17° BTDC.

1. Pengujian Kontrol 1, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan bahan bakar Dexlite murni D0 dengan timing injeksi (*Start of Injection*) standart 17° BTDC.
2. Pengujian Kontrol 2, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (90%), Etanol (10%) dan emulgator dengan timing injeksi (*Start of Injection*) standart 17° BTDC.
3. Pengujian Kontrol 3, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (80%), Etanol (20%) dan emulgator dengan timing injeksi (*Start of Injection*) standart 17° BTDC.
4. Pengujian Kontrol 4, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (70%), Etanol (30%) dan emulgator dengan timing injeksi (*Start of Injection*) standart 17° BTDC.
5. Pengujian Kontrol 5, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar Dexlite (60%), Etanol (40%) dan emulgator dengan timing injeksi (*Start of Injection*) standart 17° BTDC.

Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang, bahan bakar Dexlite-Etanol terbaik pada pengujian kontrol dengan variasi timing injeksi (*Start of Injection*).

1. Pengujian 1, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar hasil pengujian kontrol terbaik dengan timing injeksi (*Start of Injection*) standart 10,33° BTDC.
2. Pengujian 2, yaitu kondisi saat pengujian menggunakan campuran bahan bakar hasil pengujian kontrol terbaik dengan timing injeksi (*Start of Injection*) standart 23,67° BTDC.

Berikut merupakan matrik rancangan pengujian;

**Tabel 3. 3** Matrik Rancangan Pengujian Bahan Bakar Kontrol

Parameter Input			Parameter Output	
Konstan	Bervariasi		Diukur	Dihitung
	Prosentase Etanol dalam campuran	Beban Listrik		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe generator set mesin diesel</li> <li>• Putaran mesin diesel 2000 rpm</li> <li>• Volume campuran Bahan bakar (Dexlite, Etanol dan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0% (Pengujian Kontrol 1)</li> <li>• 10% (Pengujian Kontrol 2)</li> <li>• 20% (Pengujian Kontrol 3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W</li> <li>• 200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W</li> <li>• 200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arus Listrik (Amper e)</li> <li>• Tegangan (Volt)</li> <li>• Waktu konsumsi bahan bakar 10 ml (s)</li> <li>• Beda tekanan (mBar)</li> <li>• Temperatur gas</li> </ul>

Emulgator) • Timing Injeksi 16° BTDC.	30% (Pengujian Kontrol 4)	• 200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W	buang (°C) • Temperatur air pendingin (°C) • Temperatur <i>engine</i> (°C) • Temperatur oli (°C) • Kadar Partikulat (mikrogram/m <sup>3</sup> ) • Kadar UHC (ppm) • Kadar CO (% Vol) • Kadar (ppm)	
	40% (Pengujian Kontrol 5)	• 200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W		
	50% (Pengujian Kontrol 6)	• 200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W		

**Tabel 3. 4** Matrik Rancangan Pengujian Bahan Bakar Uji

Parameter Input			Parameter Output	
Konstan	Bervariasi		Diukur	Dihitung
	<i>Start of Injection</i>	Beban Listrik		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipe generator set mesin diesel</li> <li>• Putaran mesin diesel 2000 rpm</li> <li>• Volume campuran Bahan bakar (Dexlite, Etanol dan Emulgator)</li> <li>• Prosentase Etanol terbaik dari pengujian kontrol bahan bakar</li> </ul>	10,3° BTDC (Pengujian 1)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arus Listrik (Amper e)</li> <li>• Tegangan (Volt)</li> <li>• Waktu konsumsi bahan bakar 10 ml (s)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daya</li> <li>• Torsi</li> <li>• Bmep</li> <li>• SFC</li> <li>• Efisiensi <i>thermal</i></li> <li>• AFR</li> </ul>
	23,67° BTDC (Pengujian 2)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 200 W hingga 2000 W dengan interval 200 W</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beda tekanan (mBar)</li> <li>• Temperatur gas buang (°C)</li> <li>• Temperatur air pendingin (°C)</li> <li>• Temperatur <i>engine</i> (°C)</li> </ul>	

			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatur oli (°C)</li> <li>• Kadar Partikulat (mikrogram/mm<sup>3</sup>)</li> <li>• Kadar UHC (ppm)</li> <li>• Kadar CO (% Vol)</li> <li>• Kadar (ppm)</li> </ul>	
--	--	--	--	--

Selanjutnya dicari data-data pengujian setiap kelompok sebagai berikut:

1. Arus Listrik (Ampere)
2. Tegangan (Volt)
3. Waktu konsumsi bahan bakar 10 ml (s)
4. Beda ketinggian pada manometer V (mm)
5. Temperatur gas buang (°C)
6. Temperatur air pendingin (°C)
7. Temperatur *engine* (°C)
8. Temperatur oli (°C)
9. Kadar Partikulat (mikrogram/mm<sup>3</sup>)
10. Kadar UHC (ppm)
11. Kadar CO (% Vol)
12. Kadar (ppm)

Lalu data-data yang didapatkan akan dituangkan didalam table data dibawah ini;

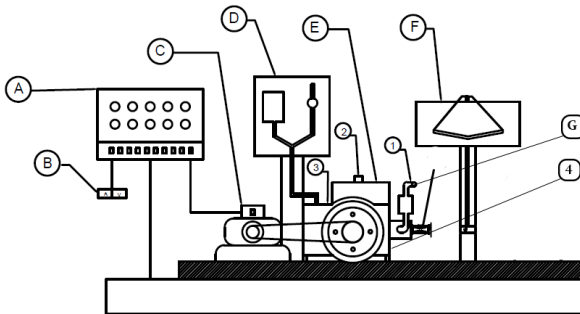
**Tabel 3. 5** Tabel pengambilan data

Beban (watt)	R P	Generator		Bahan Bakar		Temp. Air pendin gin	Te mp. <i>Eng ine</i>	Temp. Gas Buang	Temp. Oli
No	M	Ar us (A)	Volt ase (V)	Volu me (ml)	Wak tu (s)				
	2			10					
	0								
	0								

Stargas Analyser			Beda tekanan (mbar)
Partikulat (mikrogram/mm <sup>3</sup> )	UHC (ppm)	CO (%Vol)	

### 3.5.1 Skema Alat

Berikut ini adalah skema penelitian yang akan dilakukan:



**Gambar 3. 2** Skema peralatan generator set

Keterangan

- A. Lampu pembebanan
- B. Amperemeter dan Voltmeter
- C. Generator
- D. Gelas ukur
- E. Radiator
- F. Manometer V
- G. *Probe* Stargas Analyser
- 1. *Thermocouple* gas buang
- 2. *Thermocouple* air pendingin
- 3. *Thermocouple* engine
- 4. *Thermocouple* oli

### 3.5.2 Tahap-tahap Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi

Secara garis besar dalam pengujian ini adalah untuk melihat unjuk kerja dan emisi gas buang yang dihasilkan *engine* diesel yang menggunakan campuran bahan bakar 70% Dexlite-30% Etanol



dengan presentasi emulsi terbaik terhadap variasi timing injeksi (*Start of Injection*).

A. Persiapan pengujian

Hal-hal yang diperlukan dalam persiapan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Memeriksa kondisi kesiapan mesin yang meliputi kondisi fisik mesin, pelumas, sistem pendinginan, sistem bahan bakar, dan sistem udara masuk.
2. Memeriksa kondisi sistem pembebanan, sistem kelistrikan dan sambungan-sambungan listrik yang ada.
3. Memeriksa kondisi Stargas Analyser.
4. Memeriksa kesiapan alat-alat ukur.
5. Mempersiapkan alat tulis dan tabel untuk pengambilan data.

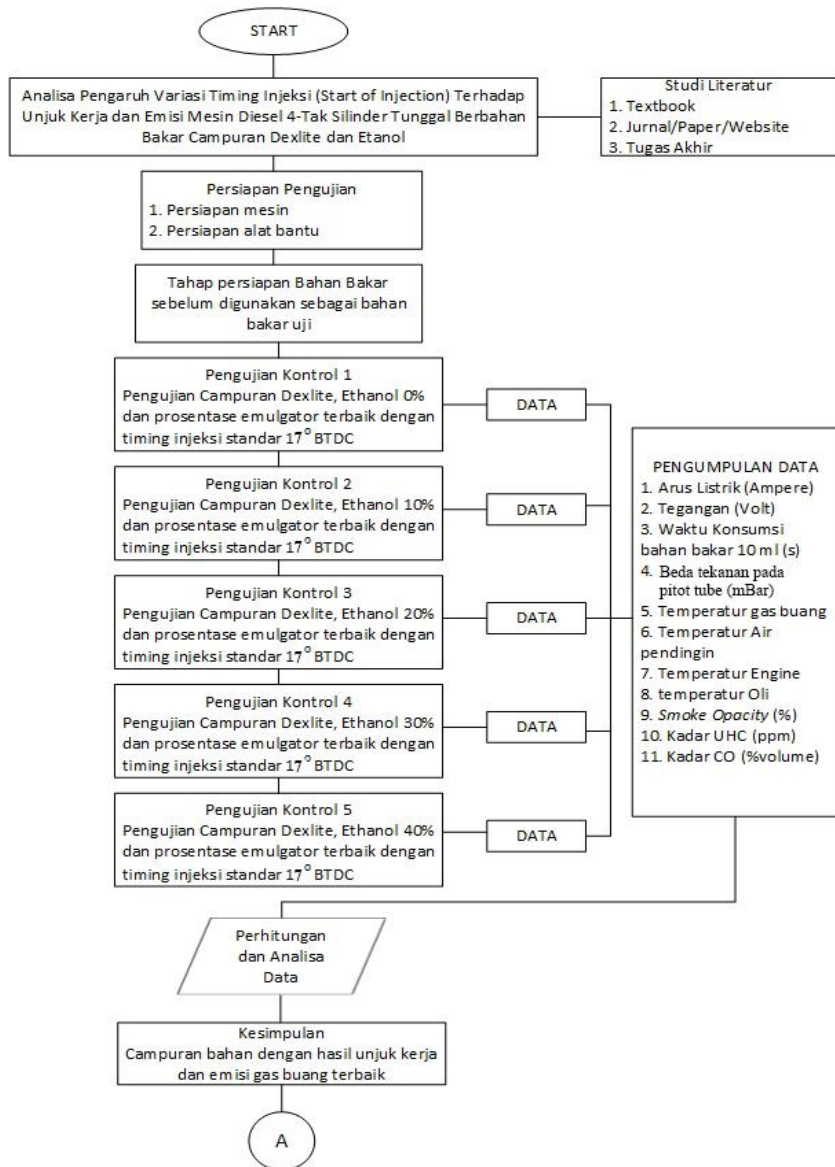
B. Pengujian unjuk kerja dan emisi

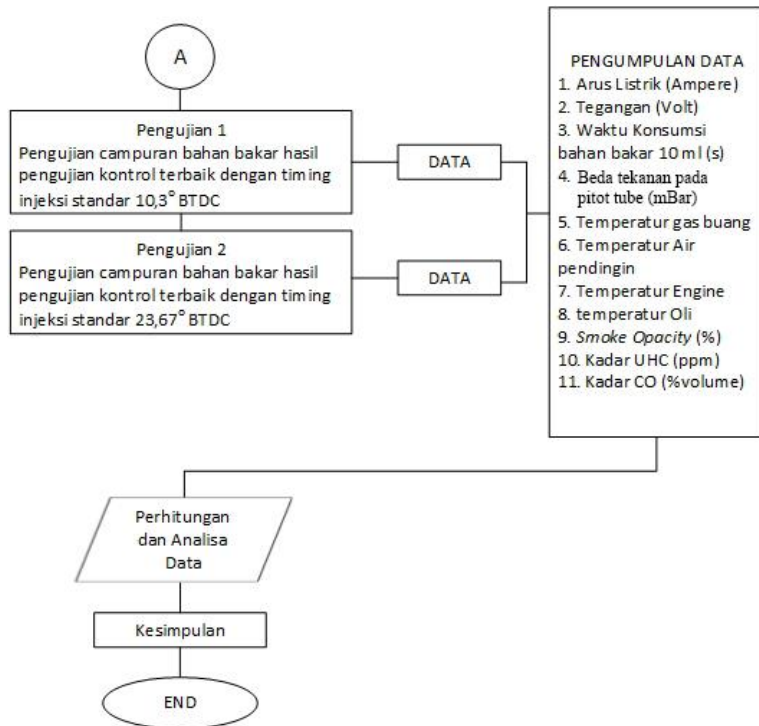
Percobaan dilakukan dengan putaran mesin tetap (*stationary speed*) dengan variasi beban listrik. Tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Menghidupkan mesin diesel.
2. Melakukan pemanasan mesin diesel selama  $\pm 20$  menit hingga temperatur mesin mencapai temperatur kondisi operasi.
3. Mengatur pembebanan pada mesin diesel mulai 200 w sampai dengan 2000 w dengan interval kenaikan setiap 200 w dengan tetap menjaga putaran mesin sebesar 2000 rpm setiap pembebanan.
4. Mencatat data-data yang dibutuhkan setiap kenaikan beban, seperti:
  - Waktu konsumsi bahan bakar Dexlite-Etanol setiap 10 ml.
  - Beda tekanan pada *pitot tube*.
  - Temperatur oli, cairan pendingin, gas buang, dan *engine*.

- Tegangan listrik (V) dan arus listrik (I).
  - Kadar partikulat, UHC, dan CO
5. Pengambilan data berdasarkan bahan bakar dan variasi timing injeksi (*Start of Injection*) yang pembagian kelompok uji-nya sudah ditentukan pada **point 3.5**.
  6. Setelah pengambilan data selesai dilakukan, maka beban diturunkan secara bertahap hingga beban nol.
  7. Mesin dibiarkan dalam kondisi tanpa beban selama  $\pm 5$  menit.
  8. Mesin dimatikan dan ditunggu kembali dingin.

### 3.5.3 Flowchart Penelitian





## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan membahas mengenai hasil dari penelitian, berikut dengan proses-proses perhitungan, data pendukung, dan pembasahan dari hasil yang didapatkan. Adapun hasil akhir dari penelitian ini adalah unjuk kerja mesin, meliputi daya, torsi, *BMEP*, *BSFC*, efesiensi termal, dan termperatur kerja pada *engine*, air pendingin, oli, dan *exhaust gas* . Serta analisa emisi gas buang meliputi *Smoke Opacity*, *UHC*, dan kadar CO.



#### **4.1 Hasil Persiapan Bahan Bakar (*Fuel Blend*) dan Uji *Properties***




Persiapan bahan bakar ialah proses mempersiapkan bahan bakar sehingga siap untuk digunakan sebagai bahan bakar *engine* Diesel. Proses tersebut terdiri dari pencampuran (*blending*) antara Dexlite, Etanol dan Emulgator Tween 80 dengan prosentase tertentu. Tujuannya adalah agar bahan bakar tidak mengalami separasi pada waktu yang singkat.


##### **4.1.1 Hasil Pencampuran Bahan Bakar (*Fuel Blending*)**

Dari proses pencampuran (*blending*) Dexlite-Etanol dengan prosentase Emulgator Tween 80 10%, 7,5% dan 2,5%, didapatkan dokumentasi sebagai berikut:

**Tabel 4. 1** Hasil Dokumentasi pada Bahan Bakar D90E10



Menit ke-	Hasil Dokumentasi		
1			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
2			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80



3			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
4			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
5			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80

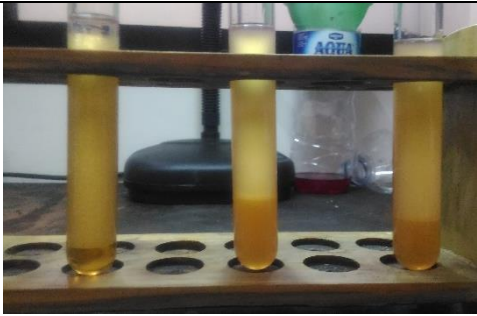

	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
6			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80





**Tabel 4. 2** Hasil Dokumentasi pada Bahan Bakar D80E20



Menit Ke-	Hasil Dokumentasi		
1			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
2			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80



3			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
4			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80

5			
	<b>10% Tween 80</b>	<b>5% Tween 80</b>	<b>2,5% Tween 80</b>
6			
	<b>10% Tween 80</b>	<b>5% Tween 80</b>	<b>2,5% Tween 80</b>


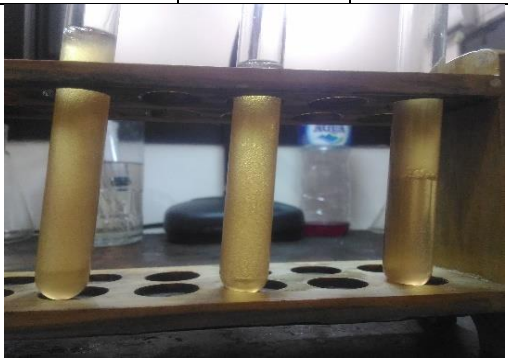
**Tabel 4. 3** Hasil Dokumentasi pada Bahan Bakar D70E30



Menit Ke-	Hasil Dokumentasi		
1			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
2			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80

3			
	<b>10% Tween 80</b>	<b>5% Tween 80</b>	<b>2,5% Tween 80</b>
4			
	<b>10% Tween 80</b>	<b>5% Tween 80</b>	<b>2,5% Tween 80</b>


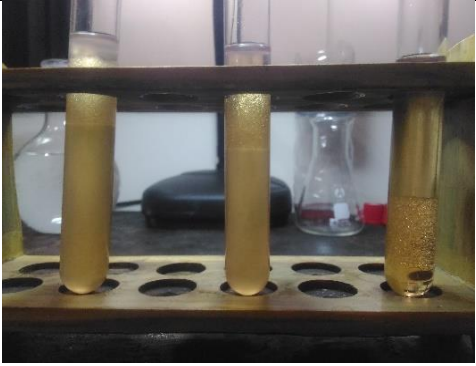
5			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
6			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80

**Tabel 4. 4** Hasil Dokumentasi pada Bahan Bakar D60E40



Menit Ke-	Hasil Dokumentasi		
1			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
2			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80



3			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
4			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80


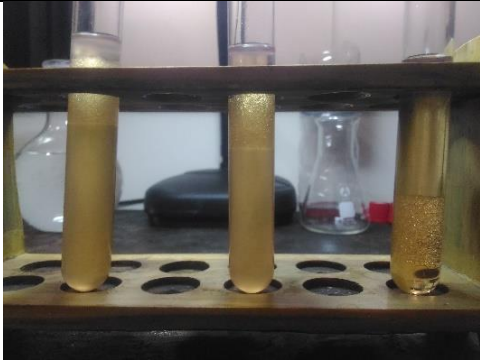


5			
	<b>10% Tween 80</b>	<b>5% Tween 80</b>	<b>2,5% Tween 80</b>
6			
	<b>10% Tween 80</b>	<b>5% Tween 80</b>	<b>2,5% Tween 80</b>

**Tabel 4. 5** Hasil Dokumentasi pada Bahan Bakar D50E50

Menit Ke-	Hasil Dokumentasi		
1			
	10% Tween 80	5% Tween 80	7,5% Tween 80
2			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80

3			
	<b>10% Tween 80</b>	<b>5% Tween 80</b>	<b>2,5% Tween 80</b>
4			
	<b>10% Tween 80</b>	<b>5% Tween 80</b>	<b>2,5% Tween 80</b>

5			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80
6			
	10% Tween 80	5% Tween 80	2,5% Tween 80

Tabel dokumentasi pencampuran bahan bakar (*fuel blending*), dengan prosentase etanol 10% sampai dengan 50% pada Dexlite menunjukan hasil campuran bahan bakar pada setiap variasi penambahan emulgator Tween 2,5%, 5% dan 10% per menit.

**Pada campuran bahan bakar D90E10**, pada menit ke-1, campuran dengan semua variasi prosentase emulgator belum mengalami separasi. Tetapi pada campuran dengan variasi

prosentase emulgator 2,5%, bahan bakar terlihat lebih gelap (mendekati warna Dexlite 100%) dan keruh dari 2 campuran yang lain. Pada menit ke-2, campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 2,5% sudah mengalami separasi. Terlihat bahwa endapan Dexlite berada dibawah dari campuran, lalu terdapat fase tersispersi dibagian tengah dan dibagian atas terdapat etanol. Pada menit ke-3, campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 5% sudah mengalami separasi. Endapan Dexlite terbentuk dibagian bawah dari campuran dan terbentuk fase tersispersi yang lebih jernih serta Etanol dibagian atas campuran. Pada menit ke-3, campuran bahan bakar dengan variasi prosentasi emulgator 10% terlihat belum mengalami separasi secara menyeluruh. Dexlite belum sepenuhnya mengendap, terlihat dari adanya gradasi warna yang terbentuk. Pada menit ke-4, campuran bahan bakar dengan variasi prosentasi emulgator 10% terlihat belum mengalami perubahan separasi yang signifikan, tetapi gradasi warna mulai memudar. Lalu, pada menit ke-5, campuran bahan bakar dengan variasi prosentasi emulgator 10% sudah mengalami separasi. Dimana endapan Dexlite sudah terbentuk.

**Pada campuran bahan bakar D80E20**, pada menit ke-1 semua bahan bakar membentuk fase terdispersi, belum terdapat endapan Dexlite maupun Etanol yang terbentuk. Pada menit ke-2, campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 2,5% dan 5% menunjukan perubahan. Dimana endapan Dexlite sudah mulai membentuk, dan garis pemisah fase sudah mulai terlihat. Pada menit ke-3, pada campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 2,5% dan 5% endapan Dexlite bertambah dari menit sebelumnya, dan garis pemisah fase terlihat jelas. Pada menit ke-4, tidak mengalami perubahan yang signifikan dari sebelumnya. Tetapi untuk campuran bahan bakar dengan variasi prosentase 10%, endapan emulgator mulai terlihat jelas. Dan pada menit ke-5 campuran bahan bakar dengan semua variasi prosentase emulgator sudah mengalami separasi.

**Pada campuran bahan bakar D70E30**, pada menit ke-1 untuk campuran bahan bakar dengan semua variasi prosentase emulgator membentuk fase terdispersi. Campuran-campuran bahan bakar ini terlihat lebih jernih dibandingkan dengan bahan bakar D90E10 dan D80E20. Pada menit ke-2 untuk campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 5% mengalami separasi. Terlihat garis pemisah antar fase yang jelas. Pada menit ke-3, campuran bahan bakar dengan variasi 2,5% mengalami separasi, terbentuk endapan Dexlite dibagian bawah dari campuran dengan garis pemisah fase yang jelas. Pada menit ke-4, campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 10% belum mengalami separasi total, tetapi garis pemisah fase sudah mulai terlihat jelas. Lalu pada menit ke-5 campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 10%, mengalami peningkatan tingkat separasi dari sebelumnya, tetapi belum sepenuhnya separasi sampai akhir menit ke-6.

**Pada campuran bahan bakar D60E40**, pada menit ke-1 semua campuran bahan bakar pada semua variasi prosentase emulgator membentuk fase terdispersi. Pada campuran bahan bakar dengan variasi emulgator 2,5%, fase terdispersi yang terbentuk terlihat lebih besar dari campuran yang lainnya. Pada menit ke-2, campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 2,5 % mengalami separasi, garis pemisah fase terlihat jelas. Terdapat endapan Dexlite yang terbentuk. Pada menit ke-3, campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 10% dan 5% mulai membentuk garis pemisah fase tetapi belum mengalami separasi. Lalu pada menit ke-4, campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 5% membentuk garis pemisah fase yang jelas, tetapi pada campuran bahan bakar dengan variasi emulgator 10% garis pemisah fase belum secara jelas nampak. Pada akhirnya di menit ke-5 semua campuran bahan bakar pada semua variasi prosentase emulgator membentuk garis pemisah fase yang jelas, sehingga dinyatakan sudah separasi.

**Pada campuran bahan bakar D50E50**, pada menit 1 semua bahan bakar membentuk fase terdispersi sampai pada akhir

menit ke-2. Pada menit ke-3, campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 2,5% mulai menampilkan garis pemisah fase, walaupun belum jelas. Pada menit ke-4 campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 2,5 sudah mengalami separasi. Untuk kedua campuran yang lainnya, belum mengalami separasi tetapi garis pemisah fase sudah mulai akan terbentuk. Pada menit ke-4, campuran bahan bakar dengan variasi prosentase emulgator 5% membentuk garis pemisah fase yang lebih jelas dari campuran variasi prosentase emulgator 10% sampai pada akhir menit ke-5.

Berdasarkan hasil dokumentasi yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa untuk semua campuran bahan bakar (D90E10, D80E20, D70E30, D60E40 dan D50E50), waktu terlalu lama bahan bakar untuk mengalami separasi adalah dengan penambahan 10% Emulgator.

Hal tersebut dapat terjadi karena dalam proses pencampuran bahan bakar (*Fuel Blending*) antara Dexlite dan Etanol, terjadi proses emulsi. Dimana sistem campuran tersebut secara termodinamika tidak stabil. Campuran tersebut terdiri dari dua fase sebagai globul-globul dalam fase cair yang lainnya, lalu distabilkan oleh emulgator Tween 80. Mutu kestabilan dan separasi dari suatu campuran dipengaruhi oleh jumlah emulgator yang dicampurkan kedalam campuran bahan bakar. Dengan menggunakan emulgator Tween 80, yang merupakan emulgator dari golongan surfaktan dan bahan aktif permukaan, tegangan antar muka dapat diminimalisir. Karena emulgator Tween dapat mengabsorpsi etanol didalam Dexlite. Tween adalah tipe emulsi A/M, dimana fase intern adalah air atau etanol dan fase eksteren adalah minyak atau Dexlite. Sehingga terbentuk fase terdispersi yaitu globul etanol yang dikelilingi Dexlite, sehingga tegangan antar permukaan berkurang dan campuran menjadi relatif lebih stabil atau tidak separasi.

#### **4.1.2 Data *Properties* Bahan Bakar**

Telah dilakukan pengujian terhadap beberapa parameter *properties* dari bahan bakar, diantaranya massa jenis, *Viscosity*,

*Catane Index*, *Lower Heating Value* dan *AFR Stoikometrik*. Berikut merupakan tabel *properties* bahan bakar:

**Tabel 4. 6** Data Properties Bahan Bakar

Parameter	Dexlite	Etanol	D90E10	D80E20	D70E30	D60E40	D50E50
Density @ 15° C (Kg/m <sup>3</sup> ) <sup>1)</sup>	845,7	788	834,2	841,9	840,7	836	833,3
Kinematic Viscosity @ 40° C (mm <sup>3</sup> /s) <sup>2)</sup>	0,65	0,15	0,415	0,403	0,392	0,38	0,37
Cetane Index <sup>3)</sup>	50	8	47,6	46,65	45,7	44,4	43,1
Lower Heating Value (KJ/Kg) <sup>4)</sup>	43000	27000	41400	39800	38200	36600	35000

Keterangan pengujian parameter:

- 1) Pengujian oleh dilakukan oleh Laboratorium Minyak Bumi PUSDIKLAT MIGAS dengan Metode ASTM 1298-99
- 2) Pengujian oleh dilakukan oleh Laboratorium Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar, Departemen Teknik Mesin ITS dengan Rion Viscotester VT-04
- 3) Pengujian oleh dilakukan oleh Laboratorium Minyak Bumi PUSDIKLAT MIGAS dengan Metode ASTM 4737-04
- 4) Perhitungan teoritis bahan bakar pada Prbakaran B[3].

## 4.2 Contoh Perhitungan Unjuk Kerja

Perhitungan yang dihitung dibawah ini adalah untuk bahan bakar D80E20 dengan *Injection Timing* standart 23,67° BTDC. Perhitungan dilakukan pada pembebanan lampu 1000 Watt dengan data-data yang dilakukan sebagai berikut:



**Tabel 4. 7** Data percobaan bahan bakar D80E20 Injection  
Timing standart 23,67° BTDC

Beban (watt)	RPM	Generator		Bahan Bakar		Delta Pressure (mbar)
		Arus (A)	Voltase (V)	Volume (ml)	Waktu (s)	
1000	2000	4,45	220	10	46,5	0,01

#### 4.2.1 Daya

Daya mesin adalah daya yang diberikan untuk mengatasi beban yang diberikan oleh generator. Daya yang dihasilkan mesin disambungkan dengan generator listrik dapat dihitung berdasarkan beban pada generator listrik dan dinyatakan sebagai daya efektif generator ( $N_e$ ), yang mana satuannya dalam bentuk watt (W). Hubungan tersebut dinyatakan dengan persamaan dibawah ini:

$$N_e = \frac{V \times I \times \cos\phi}{\eta_{generator} \times \eta_{transmisi}} \text{ (Watt)}$$

Dimana:

V : 220 V

I : 4,45 A

$\cos\phi$  : 1

$\eta_{generator}$  : 0,9

$\eta_{transmisi}$  : 0,95

maka:

$$N_e = \frac{220 \times 4,45 \times 1}{0,9 \times 0,95} \text{ Watt}$$

$$N_e = \frac{979}{0,855} \text{ Watt}$$

$$Ne = 1145 \text{ Watt}$$

$$Ne = 1,145 \text{ Kilowatt}$$

Dari perhitungan didapatkan daya yang dihasilkan *engine* Diesel berbahan bakar D80E20 dengan *Injection Timing* standart 23,67° BTDC pada pembebanan 1000 W adalah 1,145 KW.

#### 4.2.2 Torsi

Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi adalah hasil pembagian daya dalam satu menit dengan putaran mesin (rpm) sehingga memiliki satuan Nm (SI). Momen torsi dihitung dengan persamaan seperti berikut:

$$Mt = \frac{60000 \times Ne}{2\pi n} (N.m)$$

Dimana:

Ne : 1,145 KW

n : 2000 rev/min

Maka:

$$Mt = \frac{60000 \times 1,145}{2 \times 3,14 \times 2000} (N.m)$$

$$Mt = \frac{68700}{12560} (N.m)$$

$$Mt = 5,45 (N.m)$$

Dari perhitungan didapatkan Torsi yang dihasilkan *engine* Diesel berbahan bakar D80E20 dengan *Injection Timing* standart 23,67° BTDC pada pembebanan 1000 W adalah 5,45 N.m.

### 4.2.3 Brake Tekanan Efektif Rata-Rata (*BMEP*)

Besarnya tekanan dalam ruang bakar berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut dikatakan sebagai kerja per siklus per volume langkah piston. Tekanan efektif rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya yang besarnya sama dengan daya efektif. *BMEP* dihitung dengan persamaan:

$$bmep = \frac{NexZx60000}{A x l x n x i} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Dimana:

<i>Ne</i>	: 1,145 Kilowatt
<i>A</i>	: 0,0044 (m <sup>2</sup> )
<i>L</i>	: 0,08 (m)
<i>i</i>	: 1
<i>n</i>	: 2000 (rpm)
<i>z</i>	: 2 (mesin 4 langkah)

maka:

$$bmep = \frac{NexZx60}{A x l x n x i} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$bmep = \frac{1,145x2x60000}{0,0044 x 0,08 x 2000 x 1} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$bmep = \frac{137400}{0,704} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$bmep = 197170,45 \text{ N/m}^2$$

$$bmep = 197,170 \text{ KPa}$$

Dari perhitungan didapatkan *Brake* tekanan efektif rata-rata yang dihasilkan *engine* Diesel berbahan bakar D80E20 dengan *Injection Timing* standart 23,67° BTDC pada pembebanan 1000 W adalah 197,170 KPa.

#### 4.2.4 *Specific Fuel Consumption (SFC)*

*Specific* fuel consumption (Sfc) adalah jumlah bahan bakar yang dipakai mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 (satu) *hp* selama 1 (satu) jam. Didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\dot{m}_{bb} = \frac{m_{bb}}{s} (kg/s)$$

$$m_{bb} = \rho_{bb} \times v_{bb} (kg)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$sfc = 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{Ne} \left( \frac{kg}{kW.jam} \right)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \rho_{bb} &: 836 \text{ Kg/m}^3 \\ v_{bb} &: 10^{-5} \text{ m}^3 \\ s &: 46,5 \text{ s} \\ Ne &: 1,145 \text{ KW} \end{aligned}$$

Maka:

$$\begin{aligned} m_{bb} &= \rho_{bb} \times v_{bb} (kg) \\ m_{bb} &= 836 \times 0,000010 (kg) \\ m_{bb} &= 0,00836 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{bb} &= \frac{0,00836}{46,5} (kg/s) \\ \dot{m}_{bb} &= 0,00018 (kg/s) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} sfc &= 3600 \frac{\dot{m}_{bb}}{Ne} \left( \frac{kg}{kW.jam} \right) \\ sfc &= 3600 \frac{0,00018}{1,145} \left( \frac{kg}{kW.jam} \right) \end{aligned}$$

$$sfc = 0,56 \left( \frac{kg}{kW.jam} \right)$$

Dari perhitungan didapatkan *Spesific Fuel Consumption* yang dihasilkan *engine* Diesel berbahan bakar D80E20 dengan *Injection Timing* standart 23,67° BTDC pada pembebanan 1000 W adalah 0,56 kg/kW.jam.

#### 4.2.5 Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Efisiensi termal adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh mesin pembakaran dalam. Secara teoritis dituliskan dalam persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{Ne}{\dot{m} \text{ bahan bakar} \times LHV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

Dimana:

Ne	: 1,145 KW
$\dot{m} \text{ bb}$	: 0,00018 kg/s
LHV bb	: 39800 KJ/kg

Maka:

$$\eta_{th} = \frac{Ne}{\dot{m} \text{ bahan bakar} \times LHV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{1,145}{0,00018 \times 39800} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = \frac{1,145}{7,164} \times 100\%$$

$$\eta_{th} = 15,9 \%$$

Dari perhitungan didapatkan *Efisiensi Thermal* yang dihasilkan *engine* Diesel berbahan bakar D80E20 dengan *Injection Timing* standart 23,67° BTDC pada pembebanan 1000 W adalah 15,9%.

#### 4.2.6 Air Fuel Ratio (AFR)

*Air Fuel Ratio (AFR)* perbandingan massa udara terhadap massa bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar. Dihitung dengan persamaan:

$$AFR = \frac{m_{udara}}{m_{bb}}$$

Dimana:

$$m_{bb} : 0,00018 \text{ kg/s}$$

$m_{udara}$  didapatkan dengan perhitungan berikut:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(P_0 - P_1)}{\rho_{udara}}}$$

Dimana :

$$P_0 - P_1 : 0,01 \text{ mbar atau } 1 \text{ Pa}$$

$$\rho_{udara} : 1,255 \text{ kg/m}^3$$

Maka:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2(1)}{1,255}} \text{ m/s}$$

$$V_1 = 3,96 \text{ m/s}$$

Namun,  $V_1$  merupakan kecepatan maksimal, terlihat dari profil kecepatan aliran pada *internal flow*. Hal ini dikarenakan posisi pitot berada pada *centerline* pipa. Sehingga perlu dirubah menjadi *average velocity* ( $\bar{V}$ ) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\bar{V}}{V_{max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

Dimana:

$$V_{max} : 3,96 \text{ m/s}$$

n adalah *variation of power law exponent* dihitung dengan;

$$Re = \frac{\rho v D_1}{\mu}$$

$$Re = \frac{(1,125 \frac{kg}{m^3})(3,926 \frac{m}{s})(0,03675 \text{ m})}{0,000018 \text{ Ns/m}^2}$$

$$Re = 9100,21 \text{ (Aliran Turbulen)}$$

lalu dirumuskan untuk mencari n sebagai berikut:

$$n = -1,7 + 1,8 \log Re_{V_{max}}$$

Dimana

$$Re_{V_{max}} : 9100,21$$

Maka:

$$n = -1,7 + 1,8 \log Re_{V_{max}}$$

$$n = -1,7 + 1,8 \log (9100,21)$$

$$n = 5,43$$

Didapatkan  $\bar{V}$ , dengan persamaan:

$$\frac{\bar{V}}{V_{max}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)}$$

$$\bar{V} = \frac{2n^2 \times V_{max}}{(n+1)(2n+1)}$$

$$\bar{V} = \frac{2(5,43^2)(3,962)}{(5,43+1)(2(5,43)+1)}$$

$$\bar{V} = 3,063 \text{ m/s}$$

Didapatkan :

$$\dot{m}_{udara} = \rho_{udara} \times A_{pipe} \times \bar{V}$$

Dimana:

$$\begin{array}{ll} \rho_{udara} & : 1,125 \text{ kg/m}^3 \\ A_{pipe} & : 0,00106 \text{ m}^2 \\ \bar{V} & : 3,063 \text{ m/s} \end{array}$$

Maka:

$$\dot{m}_{udara} = 1,125 \times 0,00106 \times 3,063$$

$$\dot{m}_{udara} = 0,00365 \text{ kg/s}$$

Sehingga:

$$AFR = \frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{bb}}$$

$$AFR = \frac{0,00365}{0,00018}$$

$$AFR = 20,27$$

Dari perhitungan didapatkan *Air Fuel Ratio (AFR)* yang dihasilkan *engine* Diesel berbahan bakar D80E20 dengan *Injection Timing* standart 23,67° BTDC pada pembebanan 1000 W adalah 20,27.

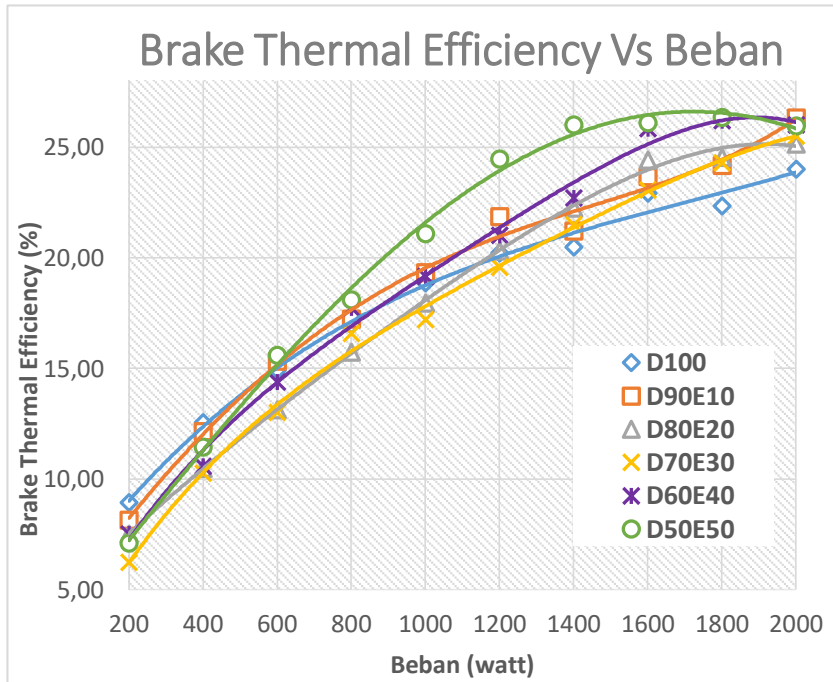


#### **4.3 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Dexlite dengan Variasi Penambahan Prosentase Etanol pada Timing Injeksi (*Start of Injection*) Standart 17° BTDC**

Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang ini, menggunakan bahan bakar Dexlite dengan variasi penambahan prosentase etanol pada timing injeksi (SOI) standart 17° BTDC. Parameter performa seperti *brake thermal efficiency*, *torque*, *brake specific consumption* dan *brake mean effective pressure* dihitung dari parameter observasi dan ditunjukkan dalam bentuk grafik. Parameter performa lain seperti *exhaust gas temperature*, *engine temperatur*, *coollant temperatur*, *oil temperatur*, dan emisi gas buang yakni, karbon monoksida, hidrokarbon dan asap ditunjukkan dalam bentuk grafik dari nilai yang terukur.

### 4.3.1 Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Efisiensi thermal dari campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.1.



**Gambar 4. 1** Grafik *Brake Thermal Efficiency* terhadap beban

Dari gambar 4.1, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*.

Trendline dari masing-masing grafik, terlihat bahwa *Brake Thermal Efficiency* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Terlihat kenaikan *Brake Thermal Efficiency* untuk semua campuran bahan bakar pada beban 1400 watt dibandingkan dengan bahan bakar

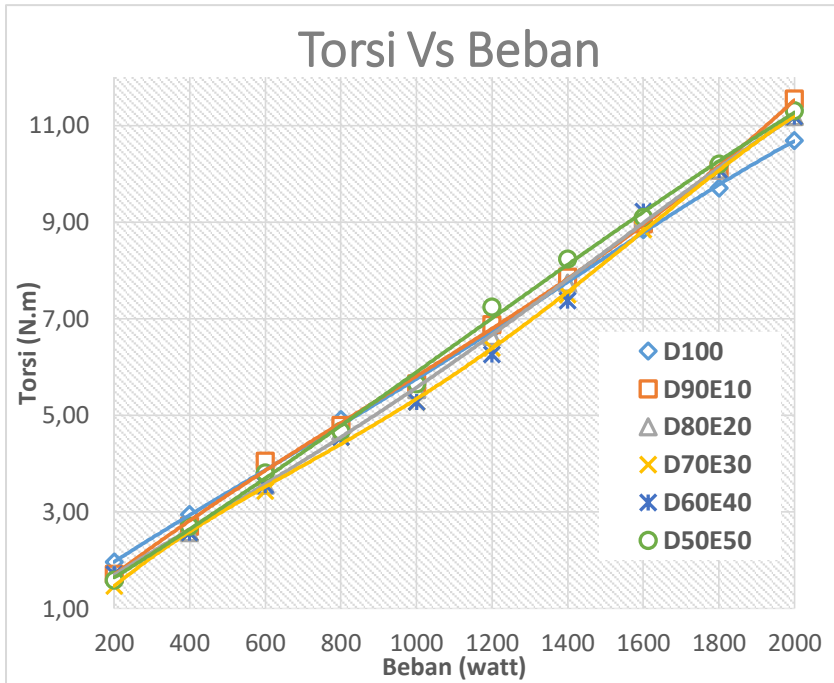
Dexlite. Bahan bakar dengan campuran 50% Dexlite dan 50% Etanol (D50E50) memiliki *Brake Thermal Efficiency* maksimum dengan nilai 17,8% lebih tinggi dibandingkan bahan bakar Dexlite (D100).

Pada beban 200 watt hingga 600 watt *Brake Thermal Efficiency* dari setiap campuran memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar Dexlite (D100). Hal ini menunjukkan bahwa campuran bahan bakar Dexlite dan Etanol belum terbakar secara efisien pada beban yang relatif rendah. Temperatur *engine* mempengaruhi proses pembakaran, dimana temperatur *engine* pada beban tersebut relatif rendah.

Pada beban 1400 watt hingga 2000 watt, *Brake Thermal Efficiency* dari setiap bahan bakar campuran memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan Dexlite (D100). Fenomena ini terjadi karena temperatur *engine* yang tinggi ditambah dengan adanya pengaruh viskositas dari campuran bahan bakar. Dalam tabel 4.6, didapatkan bahwa campuran bahan bakar Dexlite dan Etanol memiliki nilai viskositas rendah dibandingkan dengan bahan bakar Dexlite (D100), menyebabkan atomisasi bahan bakar lebih baik. Dengan proses atomisasi yang lebih baik, hal ini memungkinkan pencampuran bahan bakar dengan udara terbakar lebih sempurna. Sedangkan temperatur *engine* berperan meningkatkan *Brake Thermal Efficiency* pada beban yang tinggi. Temperatur yang tinggi pada *engine* menunjang proses pembakaran menjadi lebih sempurna.

### 4.3.2 Torsi

Torsi dari campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.2.



**Gambar 4. 2** Grafik Torsi terhadap beban

Dari gambar 4.2, dapat dilihat grafik yang menunjukkan torsi yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Torsi adalah ukuran kemampuan dari mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi dari mesin berguna untuk mengatasi beban yang diberikan ke poros mesin. Sehingga torsi akan meningkat apabila beban *engine* meningkat.

Secara perumusan dibawah ini:

$$Mt = \frac{60000 \times Ne}{2\pi n} (N.m)$$

Dimana:

Ne : Daya (watt)

n : Putaran *engine* (rpm)

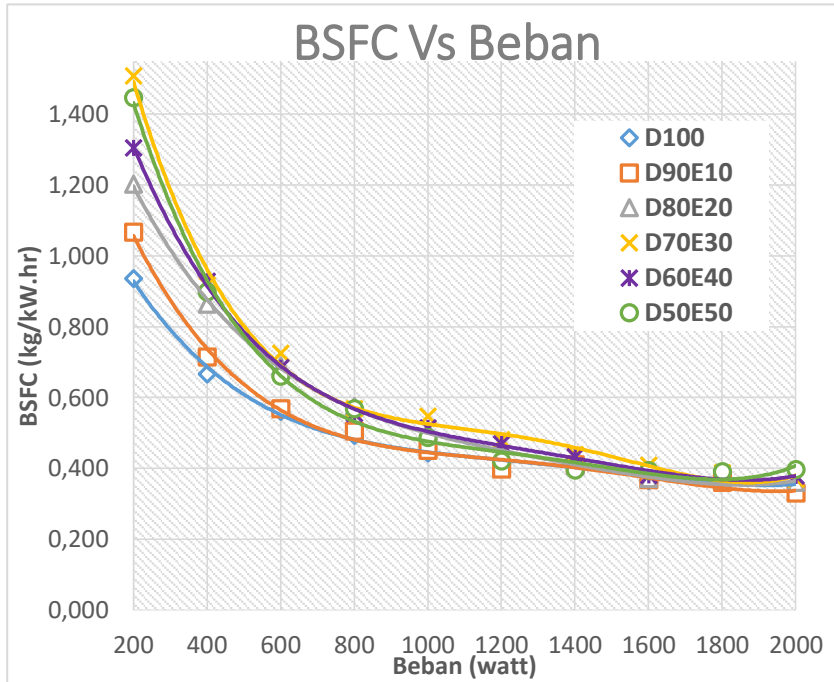
Besarnya nilai torsi bergantung pada nilai daya (Ne) dan putaran mesin (n). Dalam pengujian penelitian ini, putaran *engine* dijaga konstan pada 2000 rpm, sehingga perubahan nilai torsi bergantung pada besarnya nilai daya mesin.

Trendline dari masing-masing grafik, terlihat bahwa torsi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Terlihat nilai torsi untuk semua campuran bahan bakar pada beban 2000 watt lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar Dexlite. Bahan bakar dengan campuran 90% Dexlite dan 10% Etanol (D50E50) memiliki torsi maksimum dengan nilai 1,3% lebih tinggi dibandingkan bahan bakar Dexlite (D100).

Fenomena ini berhubungan dengan daya (Ne) yang dihasilkan pada *engine*. Dimana besar torsi berhubungan dengan daya yang dihasilkan. Pada dasarnya, untuk setiap campuran bahan bakar diuji pada beban dan putaran *engine* (n) yang sama. Sehingga, daya yang dihasilkan seharusnya cenderung sama. Pada penelitian didapatkan hasil torsi yang berbeda, berarti daya yang dihasilkan tapi bahan bakar juga cenderung berbeda. Hal ini karena dalam *setting* putaran *engine* (n) terjadi tidak akurat serta RPM yang berubah-ubah pada beban yang sama, dimana RPM yang di *setting* pada setiap campuran bahan bakar berbeda satu dengan yang lainnya. Hal ini mengakibatkan pemasukan bahan bakar berbeda-beda. Tetapi perbedaan tidak signifikan.

#### 4.3.3 Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific Fuel Consumption dari campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.3.



**Gambar 4. 3** Grafik BSFC terhadap beban

Dari gambar 4.3, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Specific Fuel Consumption* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. BSFC adalah jumlah bahan bakar dalam kg yang digunakan untuk menghasilkan 1 KW daya pada waktu 1 jam.

Trendline dari masing-masing grafik, terlihat bahwa BSFC cenderung menurun seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Terlihat nilai BSFC untuk semua campuran bahan bakar pada beban 200 watt lebih besar

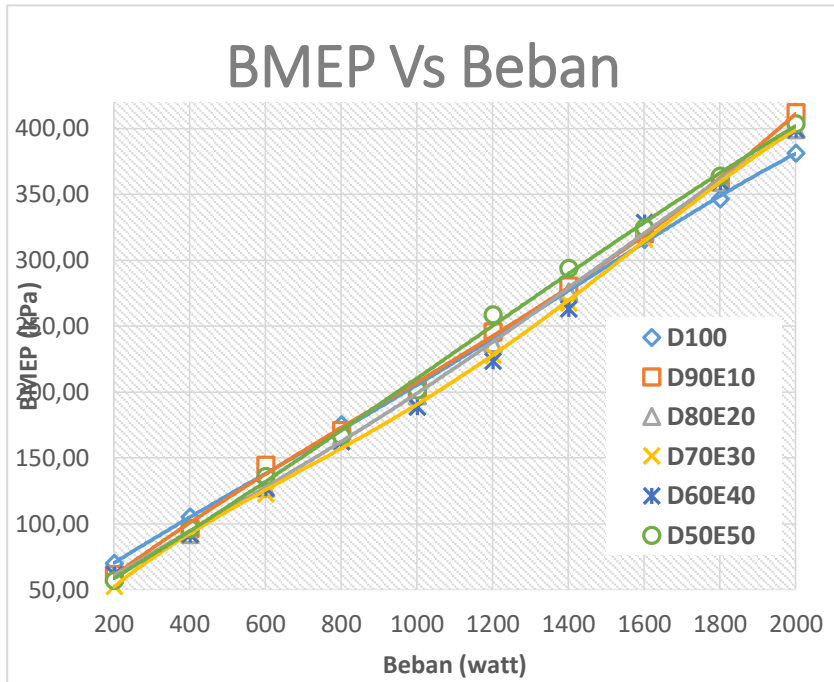
dibandingkan dengan bahan bakar Dexlite. Bahan bakar dengan campuran 70% Dexlite dan 30% Etanol (D70E30) memiliki BSFC maksimum dengan nilai 61% lebih tinggi dibandingkan bahan bakar Dexlite (D100).

Terlihat bahwa BSFC dari campuran bahan bakar, memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan Dexlite (D100). Akan tetapi, pada beban maksimum 2000 watt selisih nilai BSFC bahan bakar campuran lebih kecil dibanding pada beban 200 watt.

Secara umum, penambahan prosentase etanol dalam Dexlite mempengaruhi BSFC pada *engine*. Dimana semakin banyak prosentase Etanol didalam Dexlite maka nilai BSFC akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena nilai LHV dari masing-masing campuran bahan bakar. Data *properties* pada tabel 4.6. Semakin rendah nilai LHV dari campuran bahan bakar, akan menyebabkan nilai BSFC.

#### 4.3.4 Brake Tekanan Efektif Rata-Rata (*BMEP*)

Brake Tekanan Efektif Rata-Rata dari campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.4.



**Gambar 4. 4** Grafik BMEP terhadap beban

Dari gambar 4.4, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Mean Effective Pressure* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. BMEP adalah tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang langkah kerja piston sehingga menghasilkan daya poros efektif.

Berdasarkan grafik diatas, terlihat BMEP cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Nilai BMEP didapatkan dari persamaan:



$$bmep = \frac{NexZx60}{A x L x n x i} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Dimana:

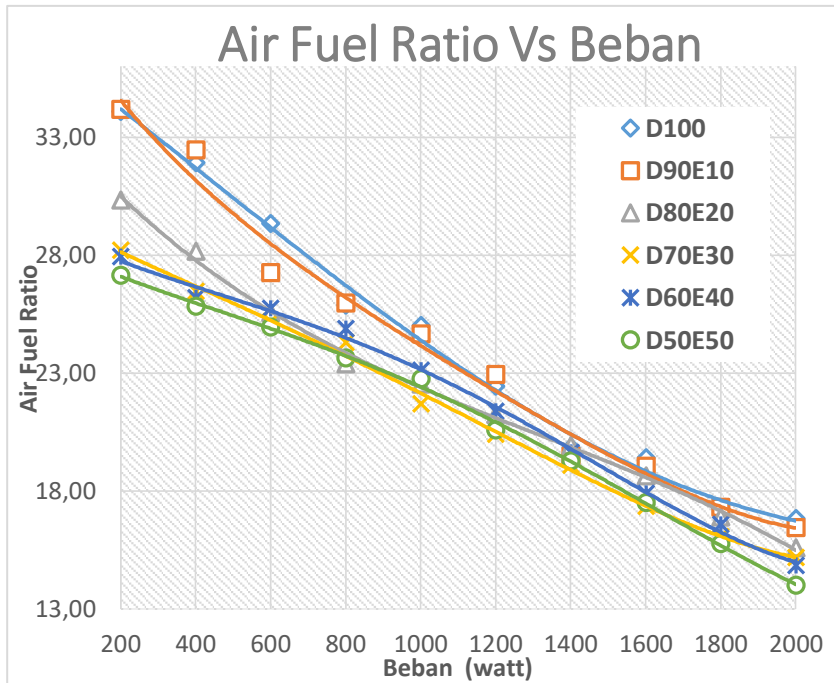
- $Ne$  : daya (kW)  
 $A$  : luasan piston ( $m^2$ )  
 $L$  : panjang langkah piston (m)  
 $i$  : jumlah silinder  
 $n$  : putaran *engine* (rpm)  
 $z$  : Konstanta pada mesin 4 langkah (2)

Dari persamaan diatas, diketahui bahwa variable  $A$ ,  $L$ ,  $i$ ,  $n$  dan  $z$  bernilai tetap. Sehingga parameter yang mempengaruhi BMEP adalah daya ( $Ne$ ). Semakin besar daya yang dihasilkan *engine*, maka BMEP yang dihasilkan juga akan meningkat.

Fenomena ini berhubungan dengan daya ( $Ne$ ) yang dihasilkan pada *engine*. Dimana besar BMEP berhubungan dengan daya yang dihasilkan. Pada dasarnya, untuk setiap campuran bahan bakar diuji pada beban dan putaran *engine* ( $n$ ) yang sama. Sehingga, daya yang dihasilkan seharusnya cenderung sama. Pada penelitian didapatkan hasil torsi yang berbeda, berarti daya yang dihasilkan tapi bahan bakar juga cenderung berbeda. Hal ini karena dalam *setting* putaran *engine* ( $n$ ) terjadi ketidakakuratan serta RPM yang berubah-ubah pada beban yang sama, dimana RPM yang di *setting* pada setiap campuran bahan bakar berbeda satu dengan yang lainnya. Tetapi perbedaan tidak signifikan.

#### 4.3.5 Air Fuel Ratio (AFR)

*Air Fuel Ratio* dari campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.5.



**Gambar 4. 5** Grafik AFR terhadap beban

Dari gambar 4.5, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Air Fuel Consumption (AFR)* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap beban kerja yang dikonsumsi oleh *engine*. *AFR* adalah perbandingan laju massa udara per sekon dibandingkan dengan laju bahan bakar per sekon juga. *AFR* mempengaruhi proses pembakaran secara kimiawi.

Trenline grafik *AFR* semua jenis bahan bakar cenderung menurun dengan penambahan beban. Untuk grafik *AFR* campuran bahan bakar D90E10 dan D100 cenderung berhimpitan seiring dengan penambahan beban. Sedangkan untuk *AFR* campuran

bahan bakar lainnya relatif lebih kecil dibandingkan dengan bahan bakar Dexlite (D100). AFR terkecil didapatkan pada campuran bahan bakar D50E50. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung AFR:

$$AFR = \frac{m_{udara}}{m_{bb}}$$

Dimana:

$m_{bb}$  : Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

$m_{udara}$  : Laju aliran massa udara (kg/s)

Variabel  $m_{udara}$  dalam *engine* diesel cenderung sama, dimana dalam penelitian ini laju aliran massa udara konstan pada 0,00365 kg/s. Sehingga AFR hanya dipengaruhi oleh variabel

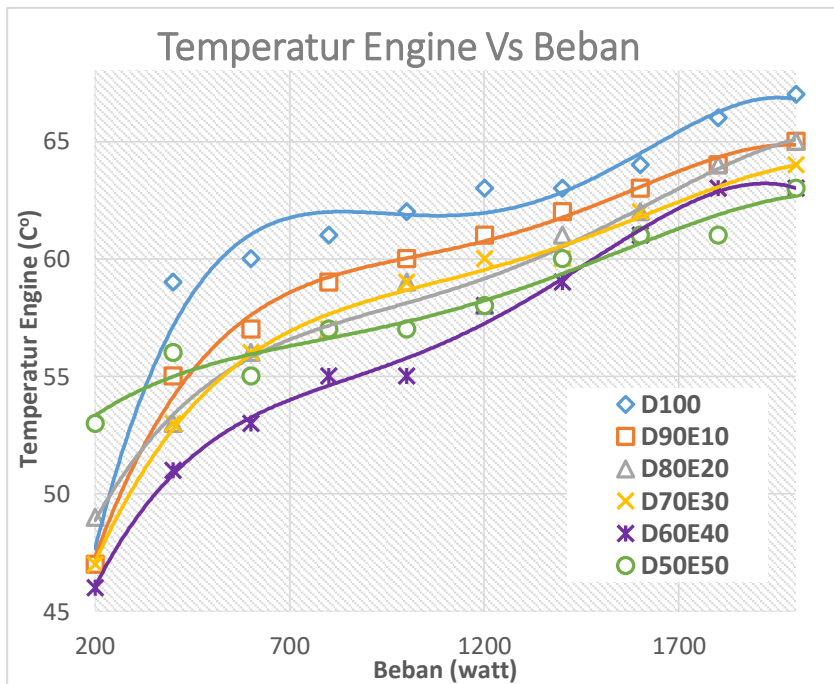
$m_{bb}$ . Laju aliran massa bahan bakar setiap campuran berbeda, bergantung pada massa jenis dari masing-masing campuran bahan bakar dan waktu konsumsi bahan bakarnya. Pada bahan bakar campuran dengan prosentase etanol yang lebih tinggi, massa jenis akan semakin kecil. Dari tabel 4.6, menunjukan *properties* bahan bakar dimana selisih massa jenis dari setiap bahan bakar campuran relatif kecil. Hal ini menyebabkan massa bahan bakar yang dikonsumsi relatif sama. Sedangkan bahan bakar campuran dengan prosentase etanol yang lebih tinggi, memiliki nilai LHV yang lebih rendah sehingga waktu konsumsi bahan bakar akan semakin

singkat. Pada akhirnya,  $m_{bb}$  dari bahan bakar campuran akan semakin tinggi seiring dengan penambahan prosentase etanol

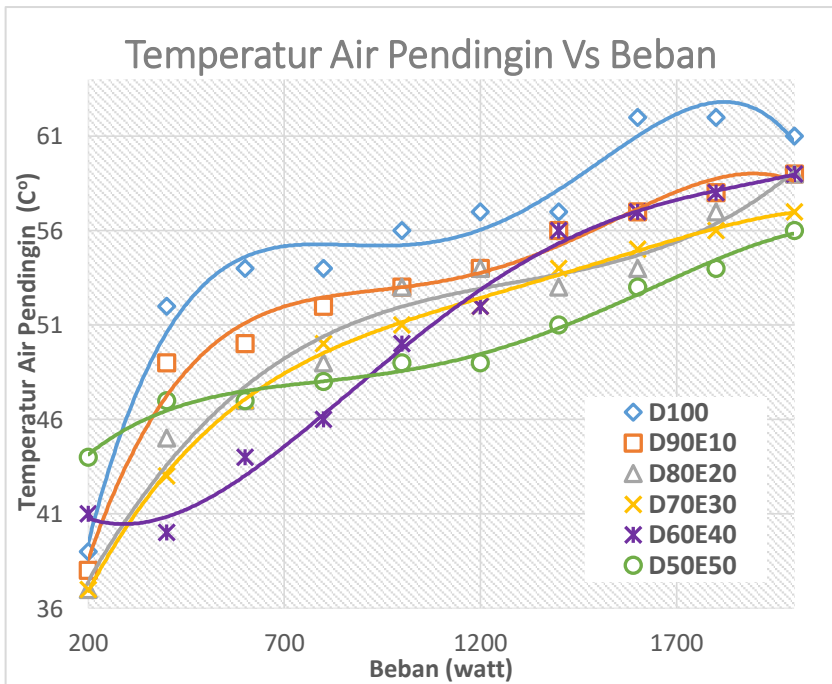
didalam Dexlite, yang menyebabkan AFR menurun seiring dengan penambahan prosentase etanol dalam Dexlite.

#### 4.3.6 Temperatur Engine, Air Pendingin, Oli dan Exhaust Gas

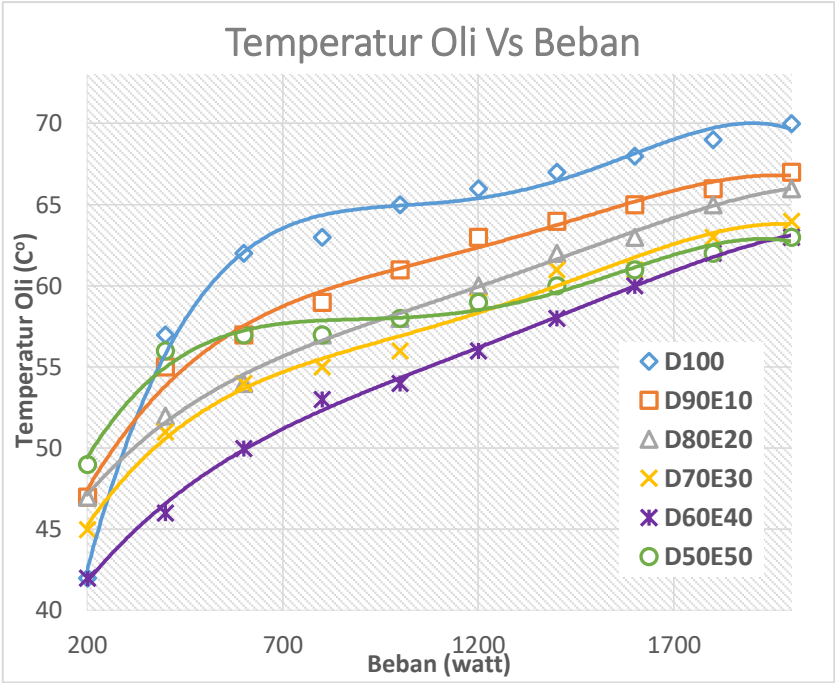
Temperatur yang didapatkan pada *Engine*, Air Pendingin, Oli Mesin dan *Exhaust Gas* dari hasil pengujian campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9.



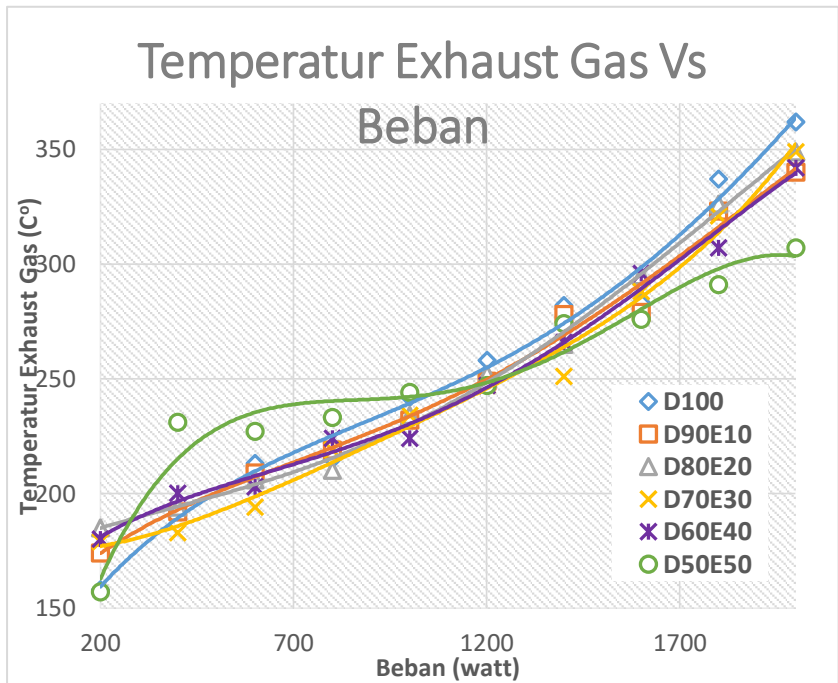
**Gambar 4. 6** Grafik temperatur engine terhadap beban



**Gambar 4. 7** Grafik temperatur air pendingin terhadap beban



**Gambar 4. 8** Grafik temperatur oli terhadap beban



**Gambar 4. 9** Grafik temperatur *exhaust gas* terhadap beban

Dari gambar 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperatur yang didapatkan pada *engine*, air pendingin, oli dan *exhaust gas* pada setiap bahan bakar campuran terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder *engine*, temperatur air pendingin merupakan pembacaan pada air radiator *engine*, temperatur oli merupakan pembacaan pada oli di *crankcase engine* dan temperatur *exhaust gas* merupakan pembacaan pada knalpot.

Terlihat untuk semua jenis bahan bakar, temperatur *engine*, air pendingin, oli dan *exhaust gas* yang didapatkan cenderung meningkat seiring dengan penambahan beban pada *engine*.

Dimana, temperatur tertinggi didapatkan pada *engine* berbahan bakar Dexlite (D100). Sedangkan temperatur *engine* untuk bahan bakar campuran cenderung menurun seiring dengan penambahan prosentase etanol. Sehingga temperatur terendah didapatkan pada *engine* berbahan bakar D50E50.

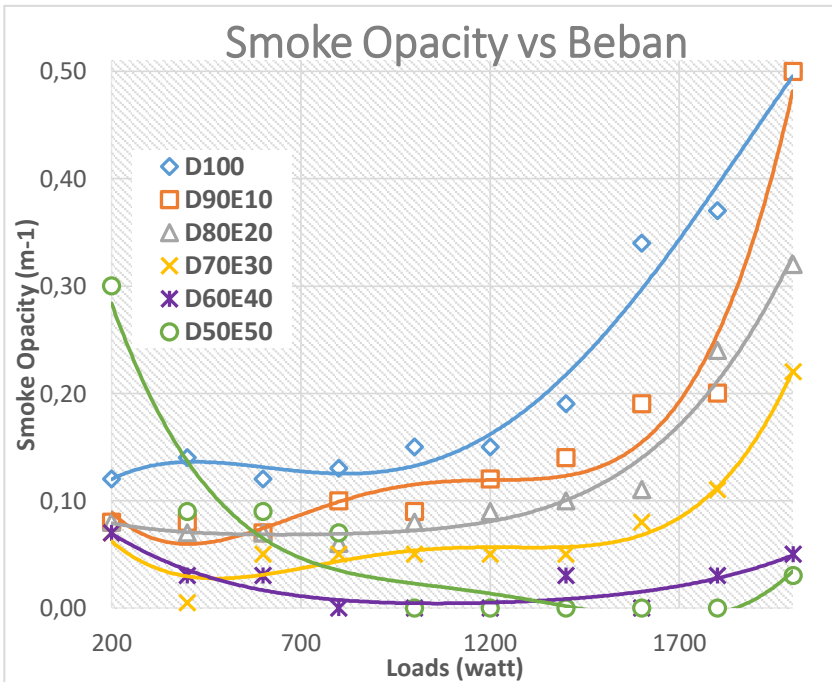
Pada proses pembakaran, energi panas yang dihasilkan tidak sepenuhnya dikonversikan menjadi energi gerak yang diterima piston. Sebagian energi panas yang tidak diteruskan ke piston ini terkonduksi ke semua bagian *engine*, termasuk komponen radiator, *crankcase* oli dan gas hasil pembakaran sehingga temperatur *engine* meningkat.

Dengan penambahan prosentase Etanol ke dalam Dexlite yang semakin tinggi, temperatur akan lebih rendah. Hal ini disebabkan karena nilai *Latent Heat of Evaporation* dari etanol yang tinggi. Sehingga dengan penambahan prosentase etanol yang lebih tinggi kedalam campuran bahan bakar, maka nilai *Latent Heat of Evaporation* dari campuran bahan bakar akan meningkat. Oleh karena itu, temperatur ruang bakar akan menjadi lebih rendah dan energi kalor yang dikonduksikan ke semua bagian komponen *engine* akan menjadi lebih rendah.



### 4.3.7 *Smoke Opacity*

*Smoke Opacity* yang dihasilkan oleh hasil pembakaran dari campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.10



**Gambar 4. 10** Grafik *Smoke Opacity* terhadap beban engine

Dari gambar 4.10 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Smoke Opacity* yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran semua jenis bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Smoke Opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh *engine*. Asap ini adalah bentuk padatan atau butiran karbon yang tercampur kedalam *exhaust gas* dan merupakan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.

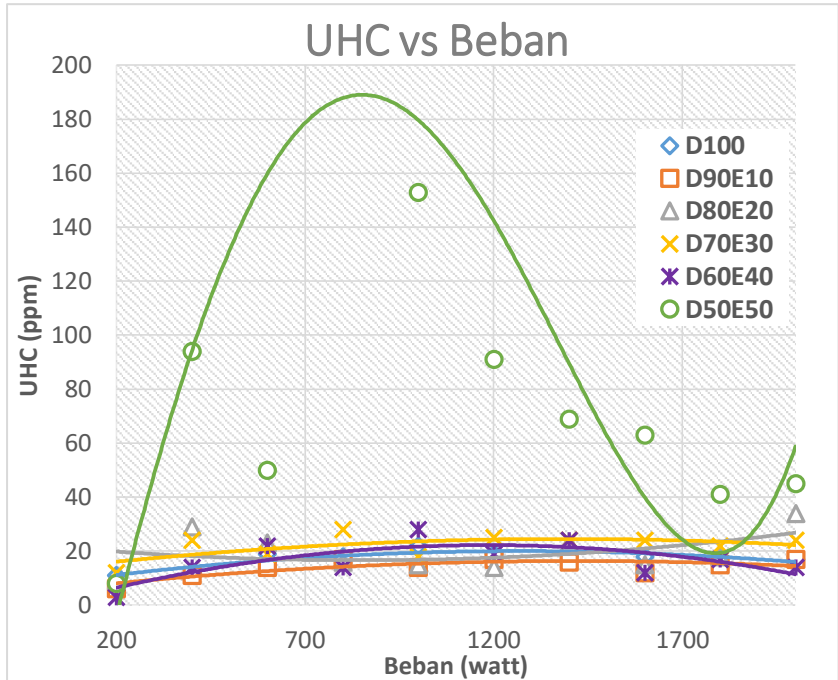
Dari grafik dapat disimpulkan bahwa, trendline dari semua jenis bahan bakar kecuali bahan bakar D50E50, cenderung

meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Dapat disimpulkan juga bahwa, nilai *Smoke Opacity* lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar Dexlite (D100), seiring dengan penambahan prosentase etanol didalam Dexlite. *Smoke Opacity* minimal yang dihasilkan *engine* adalah pada hasil pemebakaran campuran bahan bakar D50E50. Penurunan nilai *Smoke Opacity* terjadi sebesar 94% dibandingkan bahan bakar Dexlite (D100).

Reduksi dari *Smoke Opacity*, diakibatkan oleh nilai viskositas dari semua campuran yang menyebabkan atomisasi yang lebih baik, sehingga meningkatkan kualitas pembakaran dengan bahan bakar yang mengandung oksigen. Indikasi lainnya adalah tingginya efisiensi thermal dari hasil pembakaran bahan bakar, mengakibatkan *Smoke Opacity* yang kecil.

#### 4.3.8 *Unburnt Hydrocarbon (UHC)*

*Unburnt Hydrocarbon* dari campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.11.



**Gambar 4. 11** Grafik *Unburnt Hydrocarbon* terhadap beban pada *engine*

Dari gambar 4.11 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar *Unburnt Hydrocarbon* dalam ppm yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran semua jenis bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. *Unburnt Hydrocarbon* adalah gas yang terbentuk karena pembakaran dengan yang tidak sempurna.

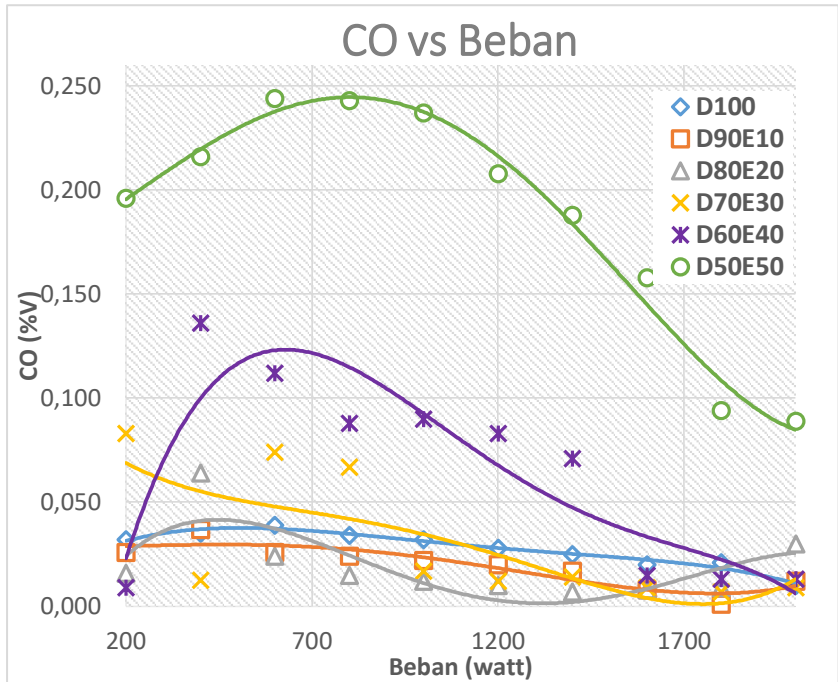
Terlihat bahwa nilai HC dari setiap bahan bakar campuran kecuali D50E50, menunjukkan trenline yang cenderung sama.

Akan tetapi terjadi peningkatan dan penurunan nilai HC pada bahan bakar campuran D50E50. Peningkatan nilai dari HC terjadi pada beban 200 watt sampai 800 watt. Kadar HC maksimal yang dihasilkan adalah sebesar 17 kali lebih tinggi dari kadar HC yang dihasilkan oleh bahan bakar Dexlite (D100). Penurunan nilai HC terjadi pada beban 800 watt sampai 1800 watt, kadar minima yang dihasilkan adalah sebesar 1,15 kali lebih tinggi dibandingkan bahan bakar Dexlite (D100).

Terjadi penurunan nilai kadar HC diakibatkan oleh bertambahnya temperatur dengan bertambah beban. Reaktifitas dari oksigen juga meningkat seiring dengan bertambahnya temperatur. Akan tetapi terjadi peningkatan kadar HC pada beban rendah untuk campuran bahan bakar D50E50. Hal ini disebabkan oleh perlambatan proses evaporasi pada campuran bahan bakar akibat dari nilai *Latent Heat of Evaporation* dari etanol yang lebih tinggi dari Dexlite (D100)

#### 4.3.9 Kadar CO

Kadar CO yang dihasilkan *engine* dari campuran bahan bakar ditunjukkan pada gambar 4.12.



**Gambar 4. 12** Grafik Kadar CO terhadap beban *engine*

Dari gambar 4.12 dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar CO dalam (%V) yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran semua jenis bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. CO atau karbon monoksida adalah gas yang terbentuk karena pembakaran pada AFR yang tidak tepat dan temperatur *exhaust gas* yang tidak tepat.

Trendline grafik D90E10 cenderung lebih rendah dibanding dengan bahan bakar Dexlite (D100) pada semua beban. Grafik D80E20 mengalami pola sinusoidal, mengalami peningkatan kadar CO pada beban 200 watt hingga 400 watt lalu mengalami

penurunan pada beban 400 watt sampai 1400 watt lalu meningkat lagi hingga 2000 watt. Pada grafik D70E30, grafik cenderung menurun seiring dengan bertambahnya beban. Pada grafik D60E40 grafik mengalami peningkatan dan penurunan, peningkatan terjadi pada beban 200 watt hingga 600 watt, setelah itu menurun sampai beban 2000 watt. Pada grafik D50E50, kadar CO mengalami peningkatan pada beban 200 watt hingga 800 watt, lalu kadar CO menurun sampai beban 2000 watt. Secara umum, trenline dari semua grafik bahan bakar cenderung menurun. Dimana kadar CO menurun seiring dengan bertambahnya beban.

Fenomena ini terjadi akibat penambahan etanol pada campuran bahan bakar, yang menyebabkan meningkatnya nilai *Latent Heat of Evaporation* dari bahan bakar. Peningkatan nilai *Latent Heat of Evaporation* mengakibatkan pencampuran bahan bakar yang lebih miskin dan *flame quenching* pada temperatur yang rendah.

#### 4.3.10 Pemilihan Bahan Bakar Uji dengan Parameter Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Terbaik

Pada pengujian campuran bahan bakar Dexlite dengan penambahan prosentase Etanol, didapatkan bahwa penambahan etanol pada bahan bakar Dexlite, dapat mengurangi emisi gas buang seperti *Smoke Opacity*, kadar *unburnt hydrocarbon* dan kadar CO. Sedangkan untuk parameter unjuk kerja, dengan penambahan etanol pada bahan bakar Dexlite didapatkan bahwa unjuk kerja yang dihasilkan relatif lebih baik daripada Dexlite (D100).

**Tabel 4. 8** Matrik Kadar Emisi Gas

<b>Bahan Bakar</b>	<b><i>Smoke Opacity</i> (%)</b>	<b>Kadar UHC (ppm)</b>	<b>Kadar CO (%V)</b>
D90E10	0,16	<b>13,9</b>	0,02
D80E20	0,12	<b>15,6</b>	<b>0,02</b>
D70E30	<b>0,07</b>	<b>15,2</b>	<b>0,03</b>
D60E40	<b>0,06</b>	16,7	0,09
D50E50	0,06	96,7	0,19

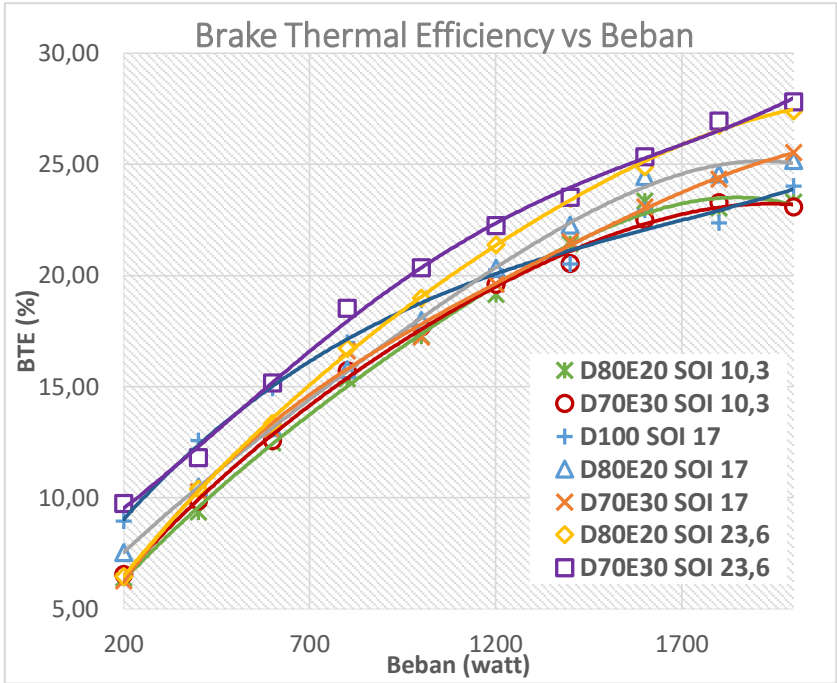
Secara khusus, pemilihan bahan bakar campuran yang digunakan dalam pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang, dengan variasi timing injeksi (*Start of Injection*) adalah dengan memperhatikan hasil dari pengujian emisi gas buang pada pengujian kontrol. Dari tabel 4.8, dijelaskan bahwa untuk ketiga parameter pengujian uji emisi, yaitu *Smoke Opacity*, kadar UHC dan kadar CO, bahan bakar dengan tingkat emisi paling minimal adalah D70E30, dengan masing emisi 0,07% *Smoke Opacity*, 15,2 ppm kadar UHC dan 0,03% kadar CO. sedangkan terbaik kedua adalah D80E20 dengan 0,12% *Smoke Opacity*, 15,6 ppm kadar UHC dan 0,02% kadar CO. Sehingga, bahan bakar D70E30 dan D80E20 merupakan bahan bakar terbaik untuk parameter emisi gas buang

#### **4.4 Hasil dan Analisa Grafik Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Dexlite-Etanol D80E20 dan D70E30 dengan Variasi Timing Injeksi (*Start of Injection*)**

Pengujian Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang ini, menggunakan campuran bahan bakar Dexlite dan Etanol D80E20 dan D70E30 dengan variasi timing injeksi (SOI) standart 17° BTDC, *Advance* 23,6° BTDC dan *Retard* 10,3° BTDC. Parameter performa seperti *Brake Thermal Efficiency*, *torque*, *brake specific consumption* dan *brake mean effective pressure* dihitung dari parameter observasi dan ditunjukkan dalam bentuk grafik. Parameter performa lain seperti *exhaust gas temperature*, *engine temperature*, *coolant temperature*, *oil temperature*, dan emisi gas buang yakni, karbon monoksida, hidrokarbon dan asap ditunjukkan dalam bentuk grafik dari nilai yang terukur.

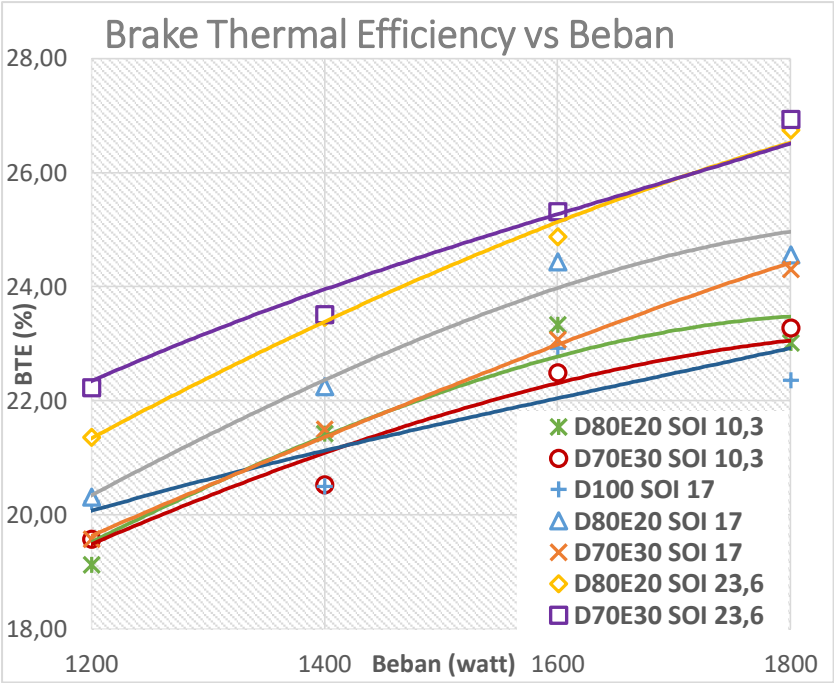
4.4.1 *Brake Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )*

Brake Efisiensi thermal yang dihasilkan *engine* dengan variasi *start of injection*, ditunjukkan pada gambar 4.13.

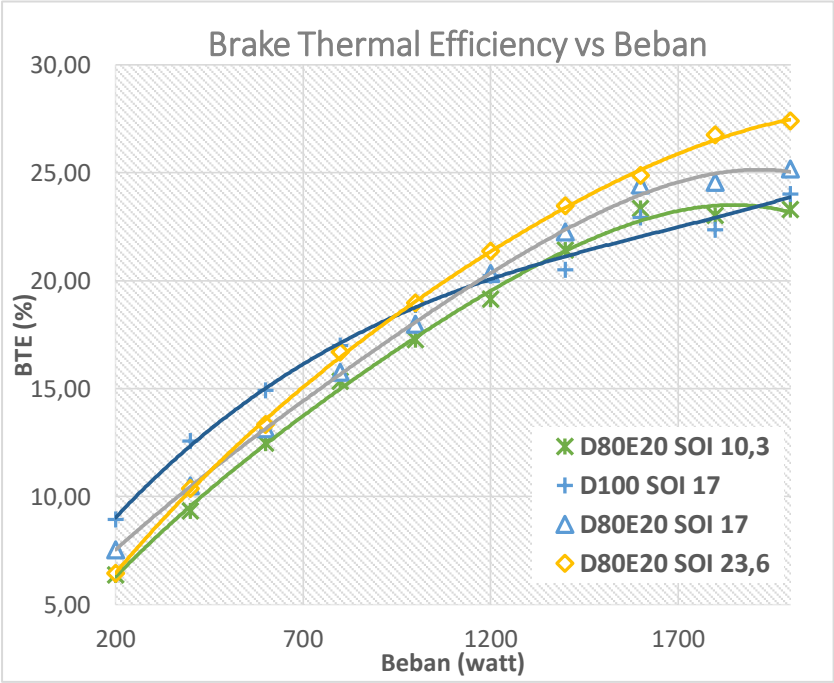


**Gambar 4. 13** Grafik *Brake Thermal Efficiency* terhadap Beban

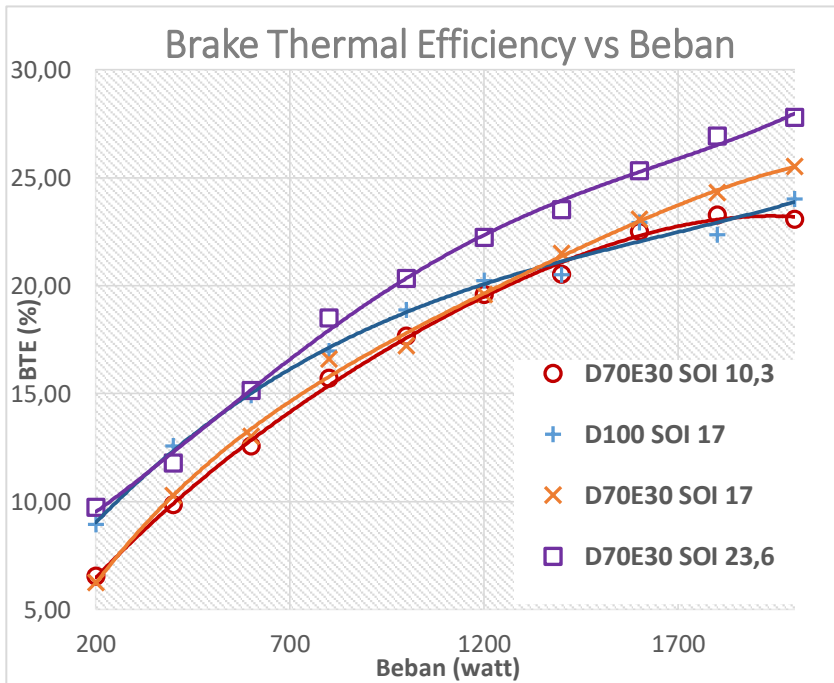




**Gambar 4. 14** Grafik *Brake Thermal Efficiency* terhadap Beban 1200 Watt sampai 1800 Watt



**Gambar 4. 15** Grafik *Brake Thermal Efficiency* terhadap Beban pada bahan bakar D80E20



**Gambar 4. 16** Grafik *Brake Thermal Efficiency* terhadap Beban pada bahan bakar D70E30

Dari gambar 4.13, 4.14, 4.15 dan 4.16 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan oleh *engine* pada campuran bahan bakar D80E20 dan D70E30 dengan SOI (*Start of Injection*) standart 17° BTDC, *Advance* 23,6° BTDC dan *Retard* 10,3° BTDC pada terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*.

Trendline dari masing-masing grafik, terlihat bahwa *Brake Thermal Efficiency* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Untuk kedua jenis bahan bakar D80E20 dan B7030, *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan *engine* dengan variasi (SOI) *Start of Injection*

bahan bakar disimpulkan bahwa *Brake Thermal Efficiency* tertinggi dihasilkan pada (SOI) *Start of Injection Advance*  $23,6^{\circ}$  BTDC. Sedangkan *Brake Thermal Efficiency* terendah dihasilkan pada (SOI) *Start of Injection Retard*  $10,3^{\circ}$  BTDC. Secara umum, BTE terbaik yang dihasilkan oleh bahan bakar D80E20 dengan (SOI) *Start of Injection Advance*  $23,6^{\circ}$  BTDC, peningkatan terjadi sebesar 4,9% dari bahan bakar D100 dengan (SOI) *Start of Injection* Standart. Pada bahan bakar D70E30, BTE terbaik dihasilkan pada (SOI) *Start of Injection Advance*  $23,6^{\circ}$  BTDC, dengan peningkatan 11,3% dari bahan bakar D100 dengan (SOI) *Start of Injection* Standart.

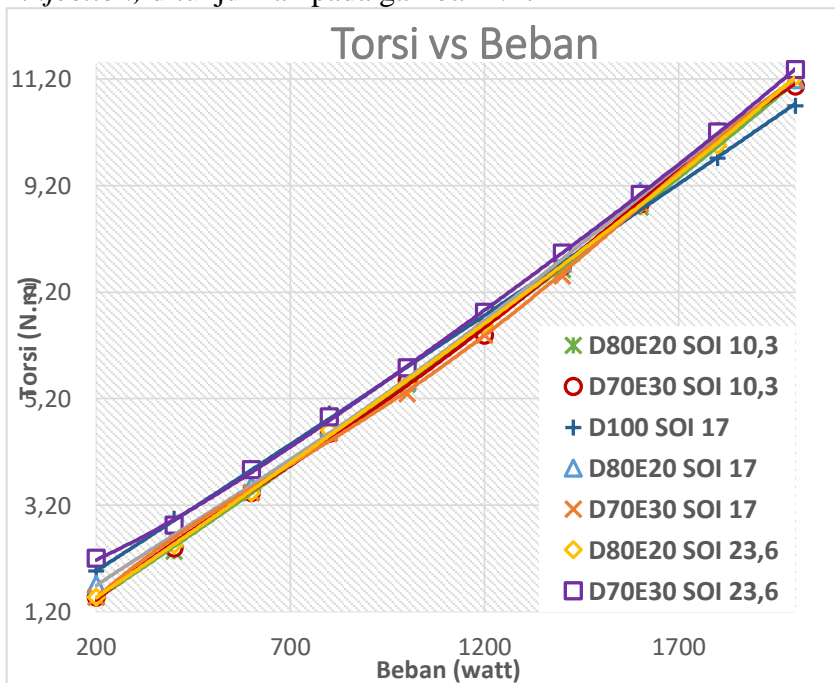
Pada **kondisi SOI Advance  $23,6^{\circ}$  BTDC**, dari grafik, terlihat bahwa *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan oleh bahan bakar pada kondisi SOI Advance  $23,6^{\circ}$  BTDC mengalami peningkatan dibandingkan pada kondisi standart  $17^{\circ}$  BTDC. Pada kondisi SOI Advance  $23,6^{\circ}$  BTDC, injektor menyemprotkan bahan bakar  $6,6^{\circ}$  lebih awal daripada kondisi standart. Hal ini memungkinkan pencampuran bahan bakar, proses atomisasi dan proses vaporasi terjadi lebih lama, sehingga menghasilkan campuran udara dan bahan bakar yang lebih homogen. Ditambah dengan adanya *properties cetane index* campuran bahan bakar D80E20 dan D70E30 yang relatif rendah, mengakibatkan *delay period* dari bahan bakar menjadi lebih panjang. Sehingga perlu adanya penyemprotan yang lebih dini sehingga *peak pressure* maksimal terjadi singkat setelah TDC (*Top Dead Centre*) piston dan menghasilkan daya dorong yang lebih efektif pada piston.

Pada **kondisi SOI Retard  $10,3^{\circ}$  BTDC**, terlihat bahwa, *Brake Thermal Efficiency* yang dihasilkan oleh bahan bakar pada kondisi SOI Retard  $10,3^{\circ}$  BTDC mengalami penurunan dibandingkan pada kondisi standart  $17^{\circ}$  BTDC. Pada kondisi SOI Retard  $10,3^{\circ}$  BTDC, injektor menyemprotkan bahan bakar  $6,6^{\circ}$  lebih lambat daripada kondisi standart. Hal ini memungkinkan pencampuran bahan bakar, proses atomisasi dan proses vaporasi terjadi lebih singkat, sehingga menghasilkan campuran udara dan bahan bakar yang kurang homogen. Ditambah dengan adanya

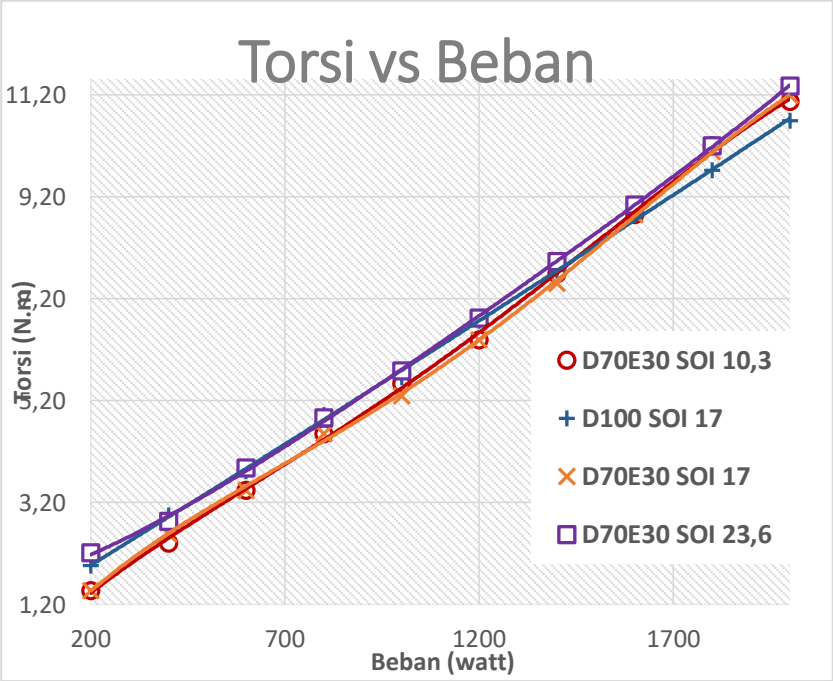
*properties cetane index* campuran bahan bakar D80E20 dan D70E30 yang relatif rendah, mengakibatkan delay period dari bahan bakar menjadi lebih panjang. Sehingga, bahan bakar lebih banyak terbakar pada fase *After Burning*, atau jauh setelah TDC (*Top Dead Centre*) piston dan menghasilkan daya dorong yang kurang efektif pada piston.

#### 4.4.2 Torsi

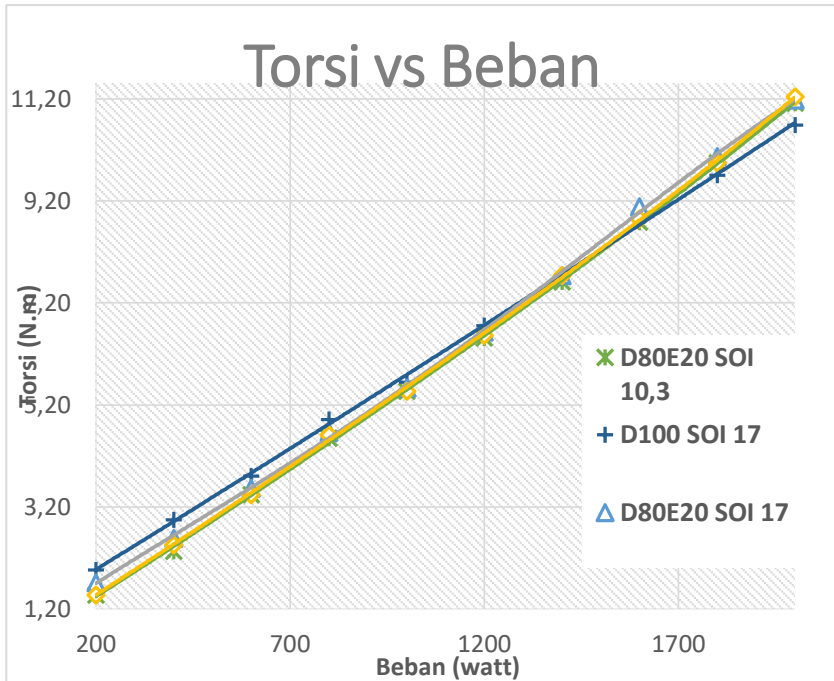
Torsi yang dihasilkan *engine* dengan variasi *start of injection*, ditunjukkan pada gambar 4.17



**Gambar 4. 17** Grafik Torsi terhadap beban



**Gambar 4. 18** Grafik Torsi terhadap beban dengan bahan bakar D80E20



**Gambar 4. 19** Grafik Torsi terhadap beban pada bahan bakar D70E0

Dari gambar 4.14, dapat dilihat grafik yang menunjukkan torsi yang dihasilkan oleh *engine* pada campuran bahan bakar dengan variasi *Start of Injection* terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Torsi adalah ukuran kemampuan dari mesin untuk menghasilkan kerja. Torsi dari mesin berguna untuk mengatasi beban yang diberikan ke poros mesin. Sehingga torsi akan meningkat apabila beban *engine* meningkat.

Secara perumusan dibawah ini:

$$Mt = \frac{60000 \times Ne}{2\pi n} (N.m)$$

Dimana:

Ne : Daya (watt)  
n : Putaran *engine* (rpm)

Besarnya nilai torsi bergantung pada nilai daya ( $N_e$ ) dan putaran mesin ( $n$ ). Dalam pengujian penelitian ini, putaran *engine* dijaga konstan pada 2000 rpm, sehingga perubahan nilai torsi bergantung pada besarnya nilai daya mesin.

Trendline dari masing-masing grafik, terlihat bahwa torsi cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Dari grafik terlihat bahwa nilai torsi yang dihasilkan pada campuran bahan bakar D80E20 cenderung sama atau tidak memberikan perbedaan yang signifikan dengan variasi *Start of Injection (SOI)*. Perbedaan maksimum terjadi pada *engine* dengan SOI  $17^\circ$  BTDC dan SOI  $10,3^\circ$  BTDC, dengan besar 2,3%. Sedangkan nilai torsi yang dihasilkan pada campuran bahan bakar D70E30 terlihat bahwa nilai torsi maksimal dihasilkan pada *engine* dengan *Start of Injection (SOI) Advance*  $23,6^\circ$  BTDC, sedangkan nilai minimal dihasilkan oleh *engine* tidak menentu. Dimana pada beban rendah dan tinggi, nilai torsi minimal dihasilkan pada *Start of Injection (SOI) Retard*  $10,3^\circ$  BTDC. Sedangkan pada beban menengah torsi terendah dihasilkan pada *Start of Injection (SOI) Standart*  $17^\circ$  BTDC. Dari grafik dapat terlihat bahwa, pada bahan bakar D80E20, Torsi terbesar dihasilkan oleh *engine* dengan kondisi *Start of Injection (SOI) Standart*  $17^\circ$  BTDC dengan peningkatan 1,3% terhadap bahan bakar D100 SOI Standart  $17^\circ$  BTDC. Sedangkan untuk bahan bakar D70E30, torsi terbesar dihasilkan *engine* pada kondisi *Start of Injection (SOI) Advance*  $23,3^\circ$  BTDC, dengan peningkatan 4,7% dari bahan bakar D100 SOI Standart  $17^\circ$  BTDC.

Pada **kondisi SOI Standart  $17^\circ$  BTDC**, terlihat bahwa Torsi yang dihasilkan *engine* dari hasil pembakaran campuran bahan bakar D80E20 adalah yang tertinggi. Tetapi perbedaan rata-rata torsi yang dihasilkan pada kondisi SOI ini relatif kecil dibandingkan kondisi SOI lainnya. Hal ini terjadi karena daya yang



dihasilkan juga relatif sama. Walaupun terjadi perbedaan pada variable *Start of Injection (SOI)*. Sedangkan pada bahan bakar D70E30, nilai torsi rata-rata relatif kecil. Fenomena ini berhubungan dengan daya ( $N_e$ ) yang dihasilkan pada *engine*. Dimana besar torsi berhubungan dengan daya yang dihasilkan. Pada dasarnya, untuk setiap campuran bahan bakar diuji pada beban dan putaran *engine* ( $n$ ) yang sama. Sehingga, daya yang dihasilkan seharusnya cenderung sama. Pada penelitian didapatkan hasil torsi yang berbeda, berarti daya yang dihasilkan tapi bahan bakar juga cenderung berbeda. Hal ini karena dalam *setting* putaran *engine* ( $n$ ) terjadi kesalahan serta RPM yang bervariasi pada beban yang sama, dimana RPM yang di *setting* pada setiap campuran bahan bakar berbeda satu dengan yang lainnya. Tetapi perbedaan tidak signifikan. Sehingga dapat diperkirakan bahwa RPM *setting engine* untuk bahan bakar D80E20 dengan SOI standar bervariasi relatif lebih tinggi dari *engine* dengan bahan bakar yang sama pada SOI dengan kondisi *Advance* dan *Retard*. Sedangkan untuk bahan bakar D70E30, *setting* RPM *engine* bervariasi tetapi relatif lebih rendah dari SOI dengan kondisi *Advance* dan *Retard*.

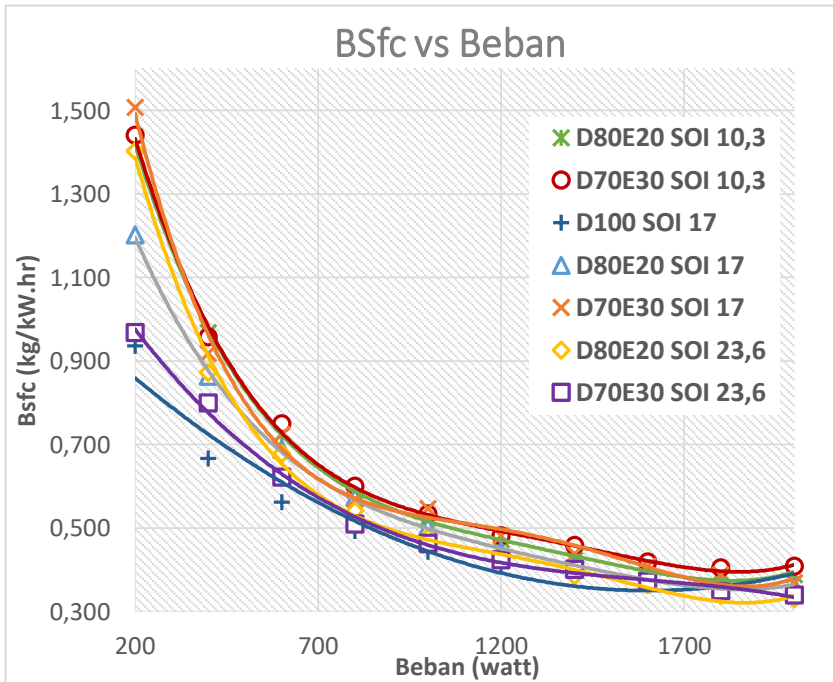
Pada **kondisi SOI Advance 23,6° BTDC**, dari grafik terlihat bahwa Torsi untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30, relatif lebih tinggi dari pada torsi yang dihasilkan *engine* pada *Start of Injection (SOI)* lainnya. Fenomena ini berhubungan dengan daya ( $N_e$ ) yang dihasilkan pada *engine*. Dimana besar torsi berhubungan dengan daya yang dihasilkan. Pada dasarnya, untuk setiap campuran bahan bakar diuji pada beban dan putaran *engine* ( $n$ ) yang sama. Sehingga, daya yang dihasilkan seharusnya cenderung sama. Pada penelitian didapatkan hasil torsi yang berbeda, berarti daya yang dihasilkan tapi bahan bakar juga cenderung berbeda. Hal ini karena dalam *setting* putaran *engine* ( $n$ ) terjadi kesalahan serta RPM yang berubah-ubah pada beban yang sama, dimana RPM yang di *setting* pada setiap campuran bahan bakar berbeda satu dengan yang lainnya. Tetapi perbedaan tidak signifikan. Sehingga dapat diperkirakan bahwa RPM *setting engine* untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 dengan SOI *Advance* bervariasi relatif lebih

tinggi dari *engine* dengan bahan bakar yang sama pada SOI dengan kondisi *Standart* dan *Retard*.

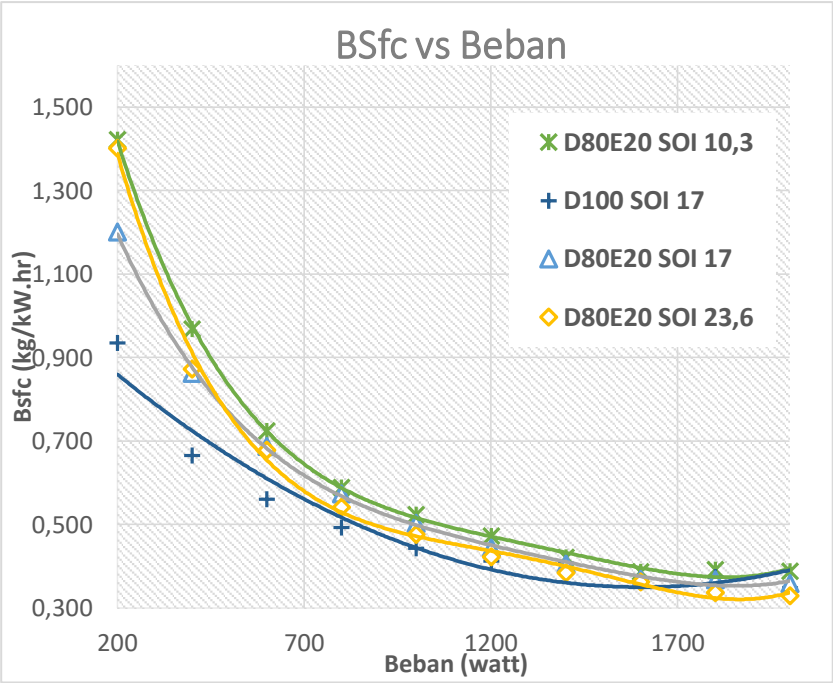
Pada **kondisi SOI Retard 10,3° BTDC**, terlihat bahwa, Torsi yang dihasilkan oleh bahan bakar D80E20 dan D70E30 mengalami penurunan dibandingkan pada kondisi standart *Start of Injection (SOI)* 17° BTDC. Fenomena ini berhubungan dengan daya ( $N_e$ ) yang dihasilkan pada *engine*. Dimana besar torsi berhubungan dengan daya yang dihasilkan. Pada dasarnya, untuk setiap campuran bahan bakar diuji pada beban dan putaran *engine* ( $n$ ) yang sama. Sehingga, daya yang dihasilkan seharusnya cenderung sama. Pada penelitian didapatkan hasil torsi yang berbeda, berarti daya yang dihasilkan tiap bahan bakar juga cenderung berbeda. Hal ini karena dalam *setting* putaran *engine* ( $n$ ) terjadi kesalahan serta RPM yang berubah-ubah pada beban yang sama, dimana RPM yang di *setting* pada setiap campuran bahan bakar berbeda satu dengan yang lainnya. Tetapi perbedaan tidak signifikan. Sehingga dapat diperkirakan bahwa RPM *setting engine* untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 dengan SOI *Advance* bervariasi relatif lebih rendah dari *engine* dengan bahan bakar yang sama pada SOI dengan kondisi *Standart* dan *Advance*.

#### 4.4.3 *Specific Fuel Consumption (SFC)*

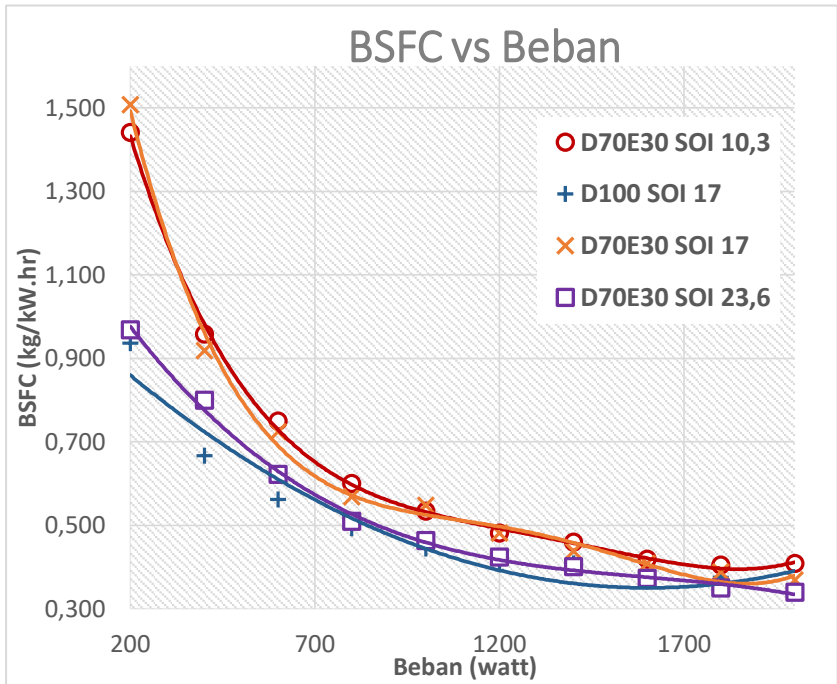
Specific Fuel Consumption yang dihasilkan engine dengan variasi start of injection, ditunjukkan pada gambar 4.20.



**Gambar 4. 20** Grafik *Specific Fuel Consumption (SFC)* terhadap beban untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30



**Gambar 4. 21** Grafik *Specific Fuel Consumption (SFC)* terhadap beban untuk bahan bakar D80E20



**Gambar 4. 22** Grafik *Specific Fuel Consumption (SFC)* terhadap beban untuk bahan bakar D70E30

Dari gambar 4.20, 4.21 dan 4.22 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Specific Fuel Consumption* yang dihasilkan oleh *engine* pada campuran bahan bakar terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine* dengan variasi *Start of Injection (SOI)* Standart 17° BTDC, *Advance* 23,6° BTDC dan *Retard* 10,3° BTDC. BSFC adalah jumlah bahan bakar dalam kg yang digunakan untuk menghasilkan 1 KW daya pada waktu 1 jam.

Trendline dari masing-masing grafik, terlihat bahwa BSFC untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 pada semua variasi SOI cenderung menurun seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*.

Pada bahan bakar D80E20, nilai BSFC terendah dihasilkan pada *engine* dengan *Start of Injection Advance* 23,6° BTDC. Sedangkan nilai BSFC terbesar dihasilkan oleh *engine* pada *Start of Injection Retard* 10,3° BTDC. Penurunan BSFC pada *engine* dengan *Start of Injection Advance* 23,6° BTDC daripada *engine* dengan *Start of Injection Standart* 17° BTDC adalah sebesar 6,9% sedangkan peningkatan nilai BSFC pada *engine* dengan *Start of Injection Advance* 23,6° BTDC dibandingkan dengan pada *engine* dengan *Start of Injection Standart* 17° BTDC adalah sebesar 0,8%. Apabila dibandingkan dengan bahan bakar D100 dengan SOI standart 17° BTDC, bahan untuk bahan bakar D80E20 dengan SOI standart 17° dan SOI *Advance* 23,6°, SFC yang dikonsumsi lebih rendah 2,5% dan 3%, sedangkan untuk bahan bakar D70E30 dengan kondisi *Start of Injection Standart Advance* 23,6° BTDC, SFC yang dikonsumsi adalah yang terendah yaitu 11,9% lebih kecil.

Pada bahan bakar D70E30, nilai BSFC terendah dihasilkan pada *engine* dengan *Start of Injection Advance* 23,6° BTDC. Sedangkan nilai BSFC terbesar dihasilkan oleh *engine* pada *Start of Injection Retard* 10,3° BTDC. Penurunan BSFC pada *engine* dengan *Start of Injection Advance* 23,6° BTDC daripada *engine* dengan *Start of Injection Standart* 17° BTDC adalah sebesar 18% sedangkan peningkatan nilai BSFC pada *engine* dengan *Start of Injection Advance* 23,6° BTDC dibandingkan dengan pada *engine* dengan *Start of Injection Standart* 17° BTDC adalah sebesar 18%.

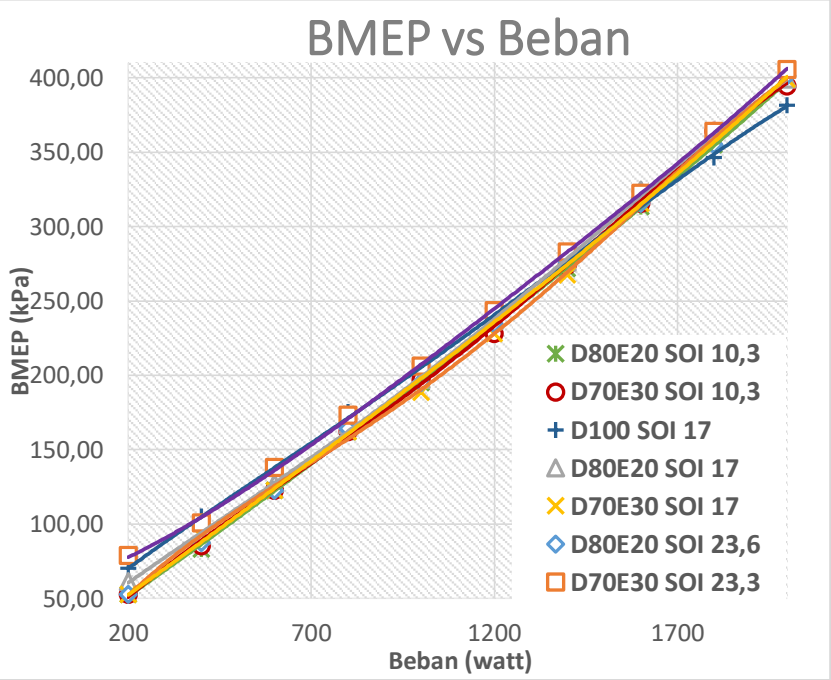
Pada **kondisi SOI Advance 23,6° BTDC**, dari grafik terlihat bahwa BSFC untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30, relatif lebih rendah dari pada BSFC yang dihasilkan *engine* pada *Start of Injection (SOI) Standart* maupun *Retard*. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi SOI *Advance* 23,6° BTDC jumlah bahan bakar dalam kg yang digunakan lebih sedikit dari pada kondisi SOI *Standart* maupun *Retard*. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi thermal yang dihasilkan pada kondisi SOI *Advance* lebih baik. Hal ini karena relatif lebih rendahnya *Index Cetane* pada bahan bakar D80E20 dan D70E30 daripada bahan bakar standart *engine* yaitu

solar 50 atau Dexlite. Dari tabel 4.6 disebutkan bahwa nilai *Index Cetane* bahan bakar D80E20 dan D70E30 yang relatif lebih kecil dibandingkan bahan bakar standart *engine* yaitu Solar 50 atau Dexlite (D100). Sehingga *delay period* yang terjadi pada proses pembakaran terjadi lebih panjang. Sehingga *Peak Pressure* yang dihasilkan berada lebih jauh dari TDC (*Top Dead Centre*), akibatnya terjadi kehilangan energi yang relatif lebih besar.

Pada **kondisi SOI Retard 10,3° BTDC**, dari grafik terlihat bahwa BSFC untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30, relatif lebih besar dari pada BSFC yang dihasilkan *engine* pada *Start of Injection (SOI)* Standart maupun *Advance*. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi SOI Retard 10,3° BTDC jumlah bahan bakar dalam kg yang digunakan lebih banyak dari pada kondisi SOI Standart maupun Standart. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi thermal yang dihasilkan pada kondisi SOI *Advance* lebih buruk. Hal ini karena relatif lebih rendahnya *Index Cetane* pada bahan bakar D80E20 dan D70E30 daripada bahan bakar standart *engine* yaitu solar 50 atau Dexlite. Dari tabel 4.6 disebutkan bahwa nilai *Index Cetane* bahan bakar D80E20 dan D70E30 yang relatif lebih kecil dibandingkan bahan bakar standart *engine* yaitu Solar 50 atau Dexlite (D100). Pada kondisi SOI Retard 10,3° BTDC, injektor menyemprotkan bahan bakar 6,6° lebih lambat daripada kondisi standart. Hal ini memungkinkan pencampuran bahan bakar, proses atomisasi dan proses vaporasi terjadi lebih singkat, sehingga menghasilkan campuran udara dan bahan bakar yang kurang homogen. Ditambah dengan adanya *properties cetane index* campuran bahan bakar D80E20 dan D70E30 yang relatif rendah, mengakibatkan *delay period* dari bahan bakar menjadi lebih panjang. Sehingga, bahan bakar lebih banyak terbakar pada fase *After Burning*, atau jauh setelah TDC (*Top Dead Centre*) piston dan menghasilkan daya dorong yang kurang efektif pada piston.

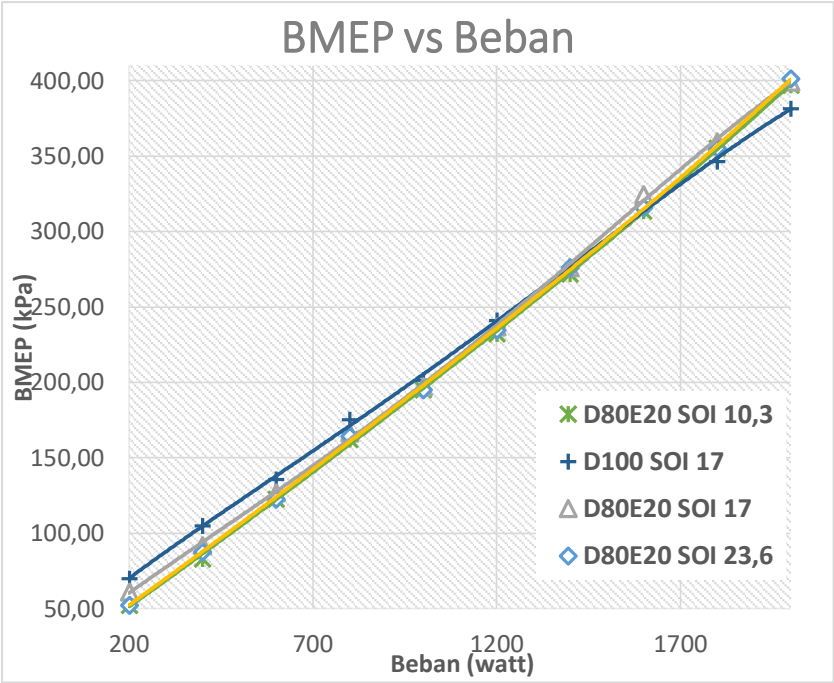
4.4.4 Brake Tekanan Efektif Rata-Rata (*BMEP*)

*Brake Tekanan Efektif Rata-Rata* yang dihasilkan *engine* dengan variasi *start of injection*, ditunjukkan pada gambar 4.23.

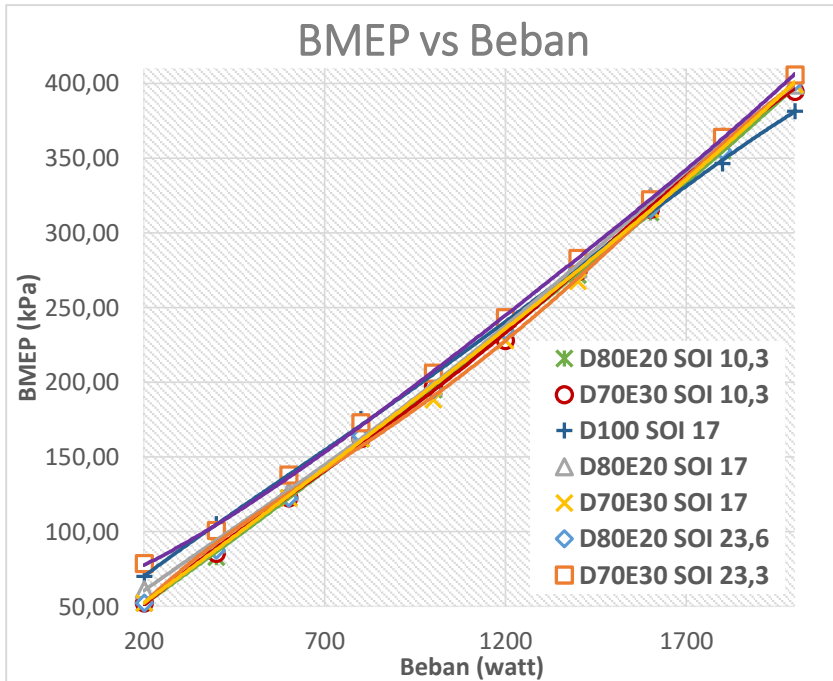


**Gambar 4. 23** Grafik BMEP terhadap beban untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30





**Gambar 4. 24** Grafik BMEP terhadap beban untuk bahan bakar D80E20



**Gambar 4. 25** Grafik BMEP terhadap beban untuk bahan bakar D70E30

Dari gambar 4.23, 4.24 dan 4.25 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Brake Mean Effective Pressure* yang dihasilkan oleh *engine* pada campuran bahan bakar D80E20 dan D70E30 terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine* dengan variasi *Start of Injection (SOI)* Standart  $17^\circ$  BTDC, *Advance*  $23,6^\circ$  BTDC dan *Retard*  $10,3^\circ$  BTDC. BMEP adalah tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang langkah kerja piston sehingga menghasilkan daya poros efektif.

Berdasarkan grafik diatas, terlihat BMEP cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Nilai BMEP didapatkan dari persamaan:

$$bmep = \frac{NexZx60}{A x L x n x i} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Dimana:

- $Ne$  : daya (kW)  
 $A$  : luasan piston ( $\text{m}^2$ )  
 $L$  : panjang langkah piston (m)  
 $i$  : jumlah silinder  
 $n$  : putaran *engine* (rpm)  
 $z$  : Konstanta pada mesin 4 langkah (2)

Dari persamaan diatas, diketahui bahwa variable  $A$ ,  $L$ ,  $i$ ,  $n$  dan  $z$  bernilai tetap. Sehingga parameter yang mempengaruhi BMEP adalah daya ( $Ne$ ). Semakin besar daya yang dihasilkan *engine*, maka BMEP yang dihasilkan juga akan meningkat.

Trendline dari masing-masing grafik, terlihat bahwa BMEP cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan kepada *engine*. Dari grafik terlihat bahwa nilai BMEP yang dihasilkan pada campuran bahan bakar D80E20 cenderung sama atau tidak memberikan perbedaan yang signifikan dengan variasi *Start of Injection (SOI)*. Perbedaan maksimum terjadi pada *engine* dengan SOI  $17^\circ$  BTDC dan SOI  $10,3^\circ$  BTDC, dengan besar 2,3%. Sedangkan nilai BMEP yang dihasilkan pada campuran bahan bakar D70E30 terlihat bahwa nilai BMEP maksimal dihasilkan pada *engine* dengan *Start of Injection (SOI) Advance*  $23,6^\circ$  BTDC, sedangkan nilai minimal dihasilkan oleh *engine* tidak menentu. Dimana pada beban rendah dan tinggi, nilai BMEP minimal dihasilkan pada *Start of Injection (SOI) Retard*  $10,3^\circ$  BTDC. Sedangkan pada beban menengah terendah dihasilkan pada *Start of Injection (SOI) Standart*  $17^\circ$  BTDC. Dari grafik dapat terlihat bahwa, pada bahan bakar D80E20, BMEP terbesar dihasilkan oleh *engine* dengan kondisi *Start of Injection (SOI) Standart*  $17^\circ$  BTDC dengan peningkatan 1,3% terhadap bahan bakar D100 SOI Standart  $17^\circ$  BTDC. Sedangkan untuk bahan bakar D70E30, BMEP terbesar dihasilkan *engine* pada kondisi

*Start of Injection (SOI) Advance 23,3° BTDC*, dengan peningkatan 4,7% dari bahan bakar D100 SOI Standart 17° BTDC.

Pada **kondisi SOI Standart 17° BTDC**, terlihat bahwa BMEP yang dihasilkan *engine* dari hasil pembakaran campuran bahan bakar D80E20 adalah yang tertinggi. Tetapi perbedaan rata-rata BMEP yang dihasilkan pada kondisi SOI ini relatif kecil dibandingkan kondisi SOI lainnya. Hal ini terjadi karena daya yang dihasilkan juga relatif sama. Walaupun terjadi perbedaan pada *variable Start of Injection (SOI)*. Sedangkan pada bahan bakar D70E30, nilai BMEP rata-rata relatif kecil. Fenomena ini berhubungan dengan daya ( $N_e$ ) yang dihasilkan pada *engine*. Dimana besar BMEP berhubungan dengan daya yang dihasilkan. Pada dasarnya, untuk setiap campuran bahan bakar diuji pada beban dan putaran *engine* ( $n$ ) yang sama. Sehingga, daya yang dihasilkan seharusnya cenderung sama. Pada penelitian didapatkan hasil BMEP yang berbeda, berarti daya yang dihasilkan tiap bahan bakar juga cenderung berbeda. Hal ini karena dalam *setting* putaran *engine* ( $n$ ) terjadi kesalahan serta RPM yang bervariasi pada beban yang sama, dimana RPM yang di *setting* pada setiap campuran bahan bakar berbeda satu dengan yang lainnya. Tetapi perbedaan tidak signifikan. Sehingga dapat diperkirakan bahwa RPM *setting engine* untuk bahan bakar D80E20 dengan SOI standar bervariasi relatif lebih tinggi dari *engine* dengan bahan bakar yang sama pada SOI dengan kondisi *Advance* dan *Retard*. Sedangkan untuk bahan bakar D70E30, *setting* RPM *engine* bervariasi tetapi relatif lebih rendah dari SOI dengan kondisi *Advance* dan *Retard*.

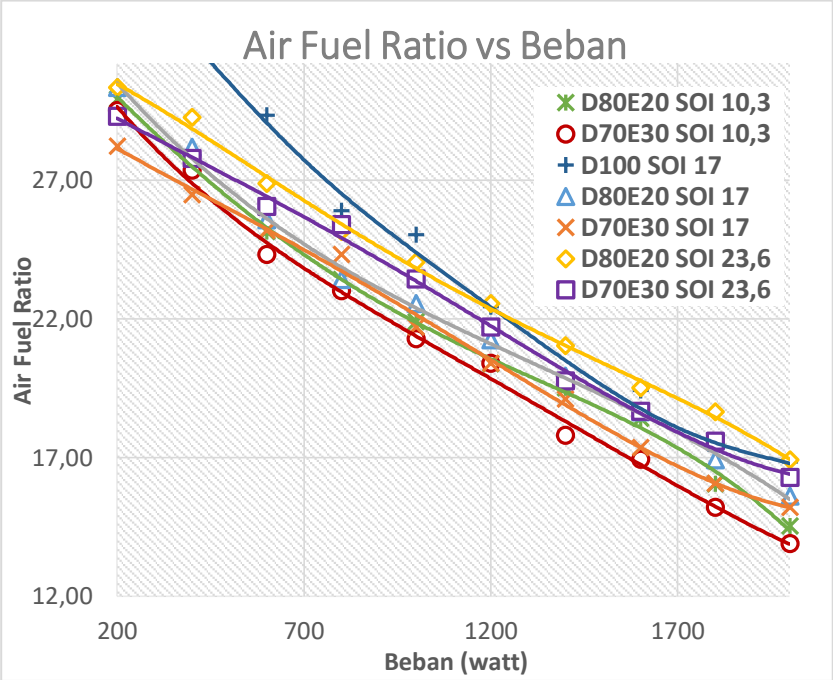
Pada **kondisi SOI Advance 23,6° BTDC**, dari grafik terlihat bahwa BMEP untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30, relatif lebih tinggi dari pada BMEP yang dihasilkan *engine* pada *Start of Injection (SOI)* lainnya. Fenomena ini berhubungan dengan daya ( $N_e$ ) yang dihasilkan pada *engine*. Dimana besar BMEP berhubungan dengan daya yang dihasilkan. Pada dasarnya, untuk setiap campuran bahan bakar diuji pada beban dan putaran *engine* ( $n$ ) yang sama. Sehingga, daya yang dihasilkan seharusnya cenderung sama. Pada penelitian didapatkan hasil BMEP yang

berbeda, berarti daya yang dihasilkan tiap bahan bakar juga cenderung berbeda. Hal ini karena dalam *setting* putaran *engine* (n) terjadi kesalahan serta RPM yang berubah-ubah pada beban yang sama, dimana RPM yang di *setting* pada setiap campuran bahan bakar berbeda satu dengan yang lainnya. Tetapi perbedaan tidak signifikan. Sehingga dapat diperkirakan bahwa RPM *setting engine* untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 dengan SOI *Advance* bervariasi relatif lebih tinggi dari *engine* dengan bahan bakar yang sama pada SOI dengan kondisi *Standart* dan *Retard*.

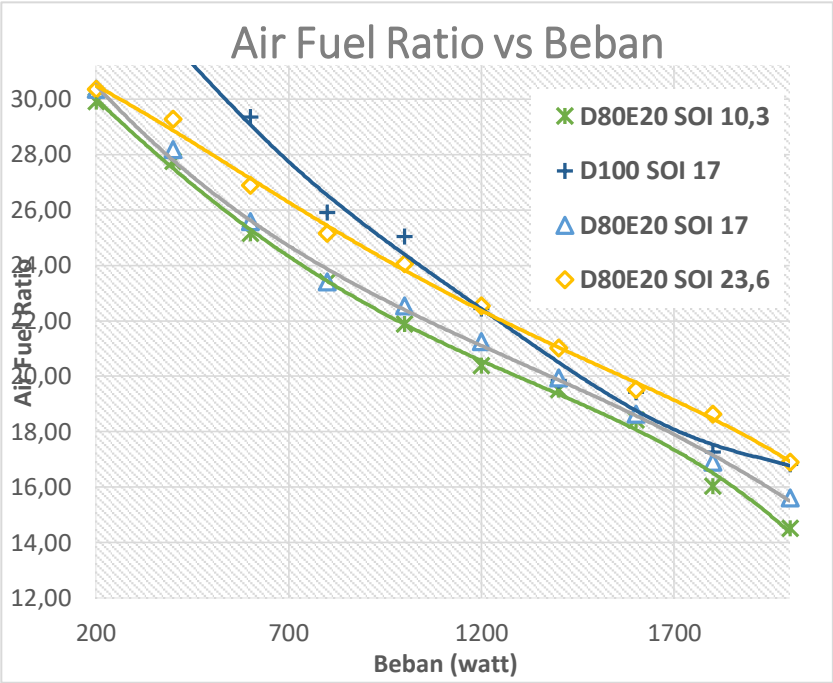
Pada **kondisi SOI Retard 10,3° BTDC**, terlihat bahwa, BMEP yang dihasilkan oleh bahan bakar D80E20 dan D70E30 mengalami penurunan dibandingkan pada kondisi standart *Start of Injection (SOI)* 17° BTDC. Fenomena ini berhubungan dengan daya (Ne) yang dihasilkan pada *engine*. Dimana besar BMEP berhubungan dengan daya yang dihasilkan. Pada dasarnya, untuk setiap campuran bahan bakar diuji pada beban dan putaran *engine* (n) yang sama. Sehingga, daya yang dihasilkan seharusnya cenderung sama. Pada penelitian didapatkan hasil BMEP yang berbeda, berarti daya yang dihasilkan tiap bahan bakar juga cenderung berbeda. Hal ini karena dalam *setting* putaran *engine* (n) terjadi kesalahan serta RPM yang berubah-ubah pada beban yang sama, dimana RPM yang di *setting* pada setiap campuran bahan bakar berbeda satu dengan yang lainnya. Tetapi perbedaan tidak signifikan. Sehingga dapat diperkirakan bahwa RPM *setting engine* untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 dengan SOI *Advance* bervariasi relatif lebih rendah dari *engine* dengan bahan bakar yang sama pada SOI dengan kondisi *Standart* dan *Advance*.

4.4.5 Air Fuel Ratio (AFR)

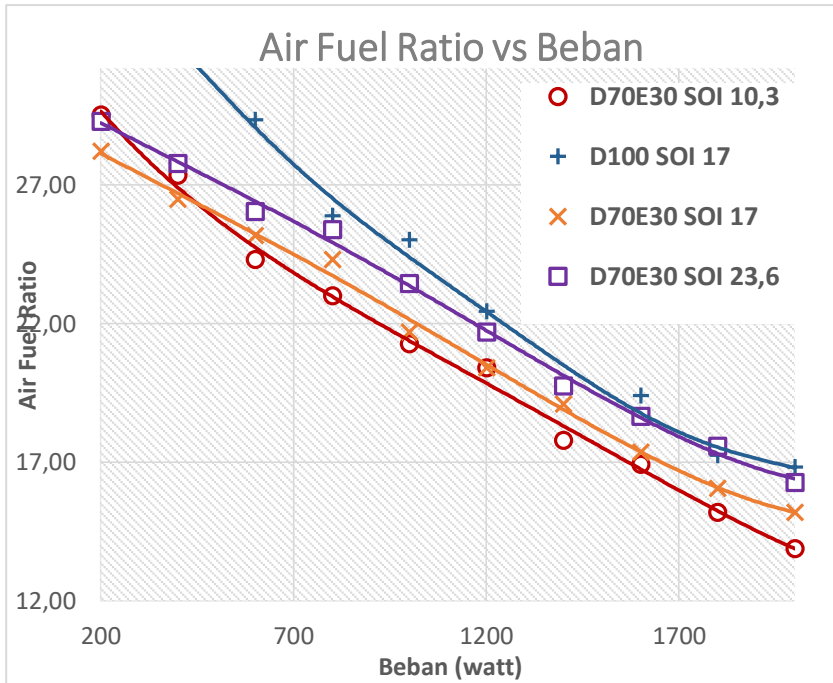
Air Fuel Ratio yang dihasilkan engine dengan variasi start of injection, ditunjukkan pada gambar 4.26.



Gambar 4. 26 Grafik AFR terhadap beban untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30



**Gambar 4. 27** Grafik AFR terhadap beban untuk bahan bakar D80E20



**Gambar 4. 28** Grafik AFR terhadap beban untuk bahan bakar D70E30

Dari gambar 4.28, dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Air Fuel Consumption (AFR)* yang dihasilkan oleh *engine* pada setiap campuran bahan bakar terhadap beban kerja yang dikonsumsi oleh *engine*. *AFR* adalah perbandingan laju massa udara per sekon dibandingkan dengan laju bahan bakar per sekon juga. *AFR* mempengaruhi proses pembakaran secara kimiawi.

Trenline grafik *AFR* semua jenis bahan bakar cenderung menurun dengan penambahan beban. Untuk campuran bahan bakar D80E20 dan D70E30, *AFR* minimal dikonsumsi oleh *engine* dengan *Start of Injection (SOI) Retard* 10,3° BTDC, sedangkan *AFR* maksimal dikonsumsi oleh *engine* dengan *Start of Injection (SOI) Advance* 10,3° BTDC. Hal ini menunjukkan bahwa dengan



memajukan (*Advance*) derajat *Start of Injection (SOI)*, dapat meningkatkan AFR yang dikonsumsi oleh *engine*, sedangkan dengan memundurkan (*retard*) derajat *Start of Injection (SOI)*, dapat mengurangi AFR yang dikonsumsi oleh *engine*.

. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung AFR:

$$AFR = \frac{m_{udara}}{m_{bb}}$$

Dimana:

$m_{bb}$  : Laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

$m_{udara}$  : Laju aliran massa udara (kg/s)

Variabel  $m_{udara}$  dalam *engine* diesel cenderung sama, dimana dalam penelitian ini laju aliran massa udara konstan pada 0,00365 kg/s. Sehingga AFR hanya dipengaruhi oleh variabel

$m_{bb}$ . Laju aliran massa bahan bakar setiap kondisi variasi timing injeksi, bergantung pada seberapa banyak massa bahan bakar yang dibutuhkan *engine* untuk mencapai daya yang dibutuhkan. Dengan jenis bahan yang sama, maka nilai LHV, massa jenis yang dimiliki adalah sama. Tetapi terdapat perbedaan dalam laju aliran massa bahan bakar yang dikonsumsi.

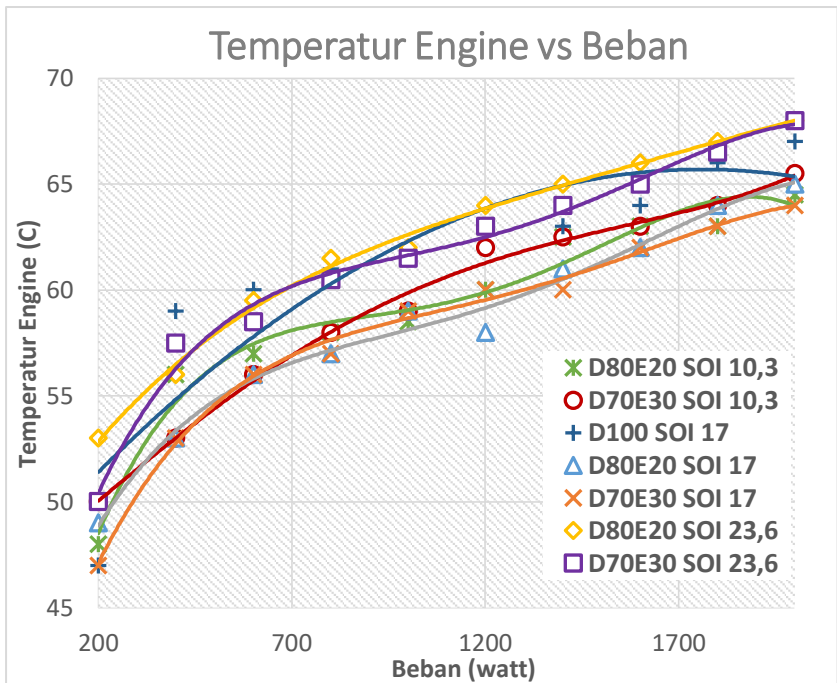
Pada **kondisi SOI Advance 23,6° BTDC**, dari grafik terlihat bahwa AFR untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30, relatif lebih tinggi dari pada AFR yang dikonsumsi *engine* pada *Start of Injection (SOI)* Standart maupun *Retard*. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi SOI Advance 23,6° BTDC aliran massa bahan bakar yang dikonsumsi lebih sedikit dari pada kondisi SOI Standart

maupun *Retard*. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi thermal yang dihasilkan pada kondisi SOI *Advance* lebih baik. Hal ini karena relatif lebih rendahnya *Index Cetane* pada bahan bakar D80E20 dan D70E30 daripada bahan bakar standart *engine* yaitu solar 50 atau Dexlite. Dari tabel 4.6 disebutkan bahwa nilai *Index Cetane* bahan bakar D80E20 dan D70E30 yang relatif lebih kecil dibandingkan bahan bakar standart *engine* yaitu Solar 50 atau Dexlite (D100). Sehingga *delay period* yang terjadi pada proses pembakaran terjadi lebih panjang. Sehingga *Peak Pressure* yang dihasilkan berada lebih jauh dari TDC (*Top Dead Centre*), akibatnya terjadi kehilangan energi yang relatif lebih besar.

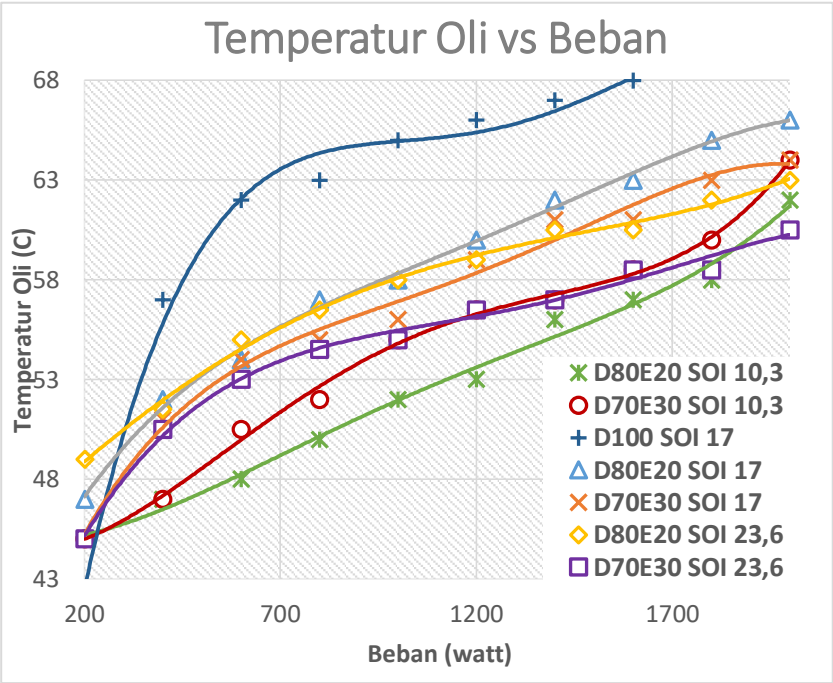
Pada kondisi **SOI Retard 10,3° BTDC**, dari grafik terlihat bahwa AFR untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30, relatif lebih kecil dari pada AFR yang dikonsumsi *engine* pada *Start of Injection (SOI)* Standart maupun *Advance*. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi SOI *Retard* 10,3° BTDC aliran massa bahan bakar dalam kg yang digunakan lebih banyak dari pada kondisi SOI Standart maupun Standart. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi thermal yang dihasilkan pada kondisi SOI *Advance* lebih buruk. Hal ini karena relatif lebih rendahnya *Index Cetane* pada bahan bakar D80E20 dan D70E30 daripada bahan bakar standart *engine* yaitu solar 50 atau Dexlite. Dari tabel 4.6 disebutkan bahwa nilai *Index Cetane* bahan bakar D80E20 dan D70E30 yang relatif lebih kecil dibandingkan bahan bakar standart *engine* yaitu Solar 50 atau Dexlite (D100). Pada kondisi SOI *Retard* 10,3° BTDC, injektor menyemprotkan bahan bakar 6,6° lebih lambat daripada kondisi standart. Hal ini memungkinkan pencampuran bahan bakar, proses atomisasi dan proses vaporasi terjadi lebih singkat, sehingga menghasilkan campuran udara dan bahan bakar yang kurang homogen. Ditambah dengan adanya *properties cetane index* campuran bahan bakar D80E20 dan D70E30 yang relatif rendah, mengakibatkan *delay period* dari bahan bakar menjadi lebih panjang. Sehingga, bahan bakar lebih banyak terbakar pada fase *After Burning*, atau jauh setelah TDC (*Top Dead Centre*) piston dan menghasilkan daya dorong yang kurang efektif pada piston.

#### 4.4.6 Temperatur *Engine*, Air Pendingin, Oli dan *Exhaust Gas*

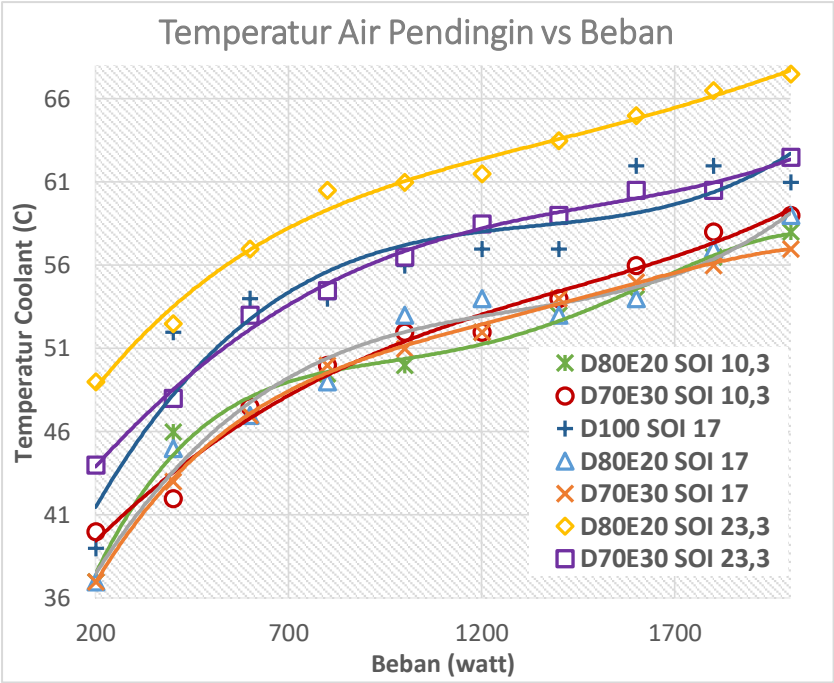
Temperatur *engine*, air pendingin, oli dan *exhaust gas* yang dihasilkan *engine* dengan variasi *start of injection*, ditunjukkan pada gambar 4.29, 4.30, 4.31 dan 4.32



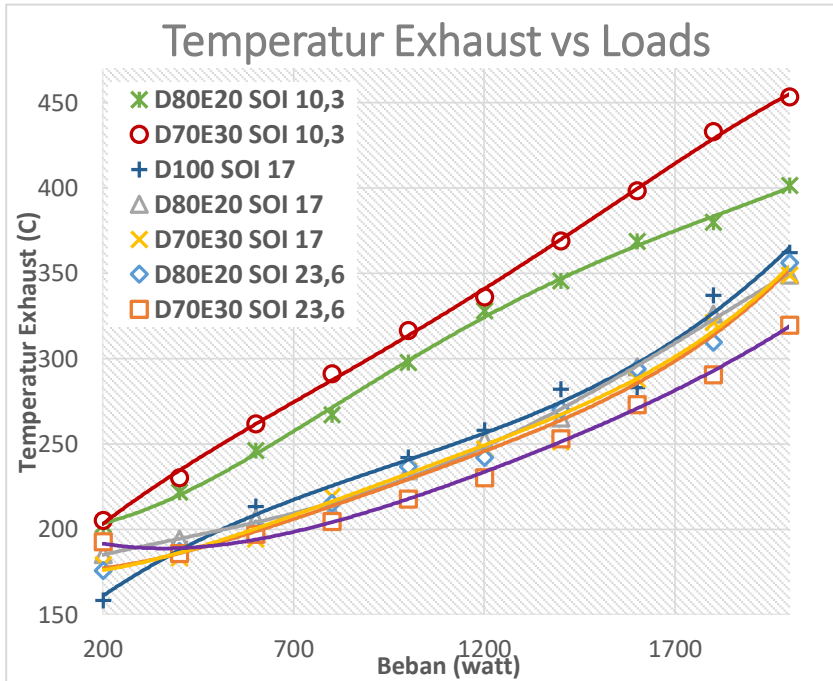
**Gambar 4. 29** Grafik Temperatur Engine Terhadap Beban Pada Bahan Bakar D80E20 dan D70E30



**Gambar 4. 30** Grafik Temperatur Oli Terhadap Beban yang dihasilkan oleh Bahan Bakar D80E20 dan D70E30



**Gambar 4. 31** Grafik Temperatur Air Pendingin Terhadap Beban yang dihasilkan oleh Bahan Bakar D80E20 dan D70E30



**Gambar 4. 32** Grafik Temperatur Exhaust Gas Terhadap Beban yang dihasilkan oleh Bahan Bakar D80E20 dan D70E30

Dari gambar 4.25, 4.26, 4.27 dan 4.28 dapat dilihat grafik yang menunjukkan temperatur yang didapatkan pada *engine* dengan bahan bakar campuran D80E20 dan D70E30 terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine*. Temperatur *engine* merupakan hasil pembacaan *thermocouple* yang diinstalasi pada blok silinder *engine*, temperatur oli pada bak oli, temperatur air radiator pada radiator dan temperatur *exhaust gas* pada knalpot.

Terlihat untuk semua jenis bahan bakar, temperatur *engine*, oli, *collant* dan *exhaust gas* yang didapatkan cenderung meningkat seiring dengan penambahan beban pada *engine*. Dimana, pada bahan bakar D80E20 dan D70E30, temperatur tertinggi didapatkan

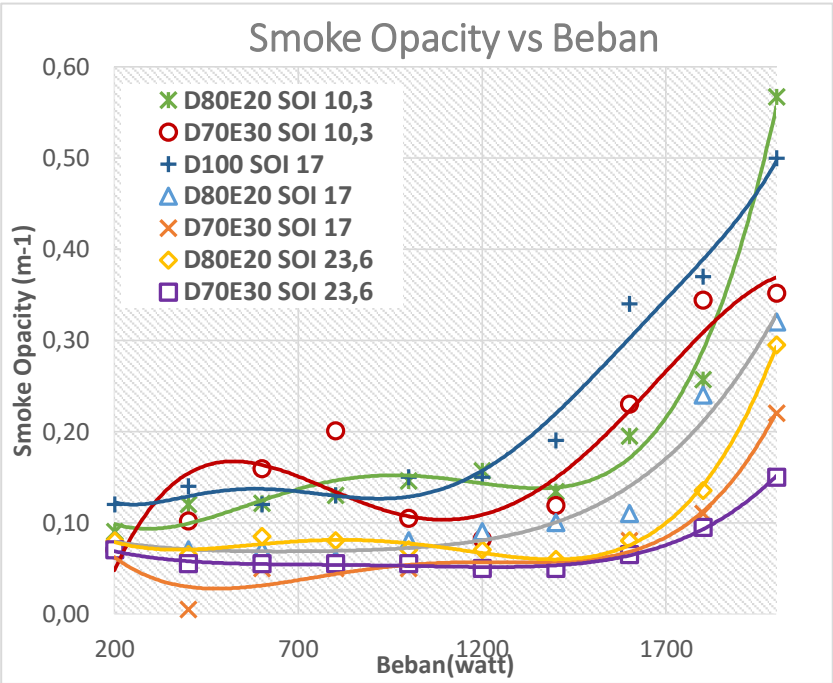
pada *engine*, oli dan *collant* dengan kondisi timing injeksi *advance* dan dalam kondisi timing injeksi *retard* menunjukkan temperatur *exhaust gas* maksimal.

Pada **kondisi SOI Advance 23,6° BTDC**, temperatur *engine*, oli dan *exhaust gas* untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 menghasilkan temperatur yang lebih tinggi dari kondisi timing injeksi standart SOI Standart 17° BTDC. Hal ini karena adanya pembakaran yang lebih baik dan efisien sehingga menghasilkan panas yang lebih besar. Lalu panas ini dikonduksikan keseluruh bagian *engine*. Sedangkan untuk temperatur *exhaust gas* relatif lebih kecil karena pembakaran yang tidak efisien dan adanya pembakaran yang minimal pada fase *after burning*.

Pada **kondisi SOI Retard 10,3° BTDC**, temperatur *engine* oli dan *exhaust gas* relatif lebih rendah dari kondisi timing injeksi SOI Standart 17° BTDC untuk kedua jenis bahan bakar D8020 dan D7030. Hal ini karena pada kondisi *Retard* 10,3° BTDC bahan bakar terbakar secara kurang sempurna dan efisien sehingga menghasilkan panas yang relatif rendah. Tetapi pada temperatur *exhaust gas*, menunjukkan nilai yang tinggi karena pembakaran terjadi lebih banyak pada fase *after burning*.

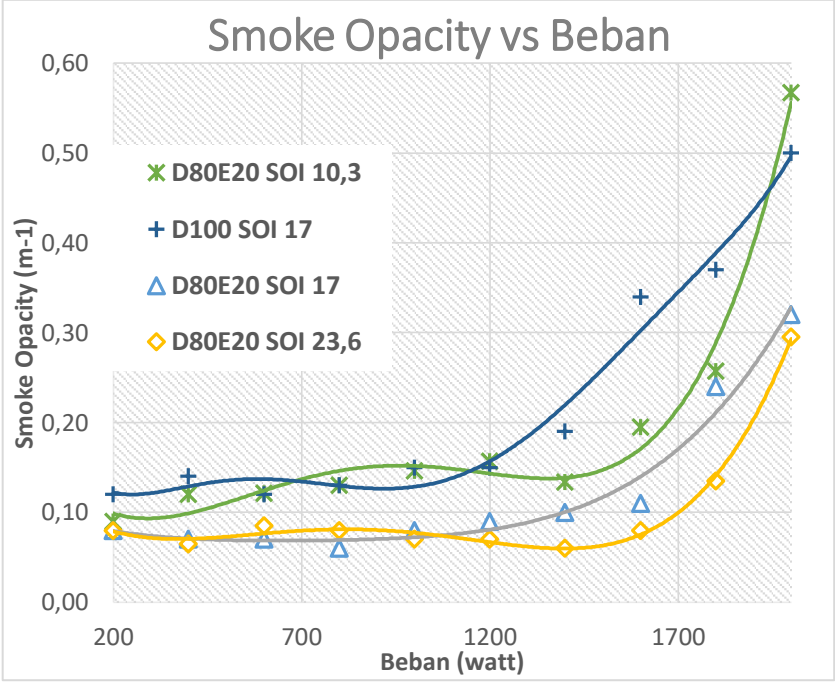
4.4.7 *Smoke Opacity*

*Smoke Opacity* yang dihasilkan *engine* dengan variasi *start of injection*, ditunjukkan pada gambar 4.33, 4.34 dan 4.35

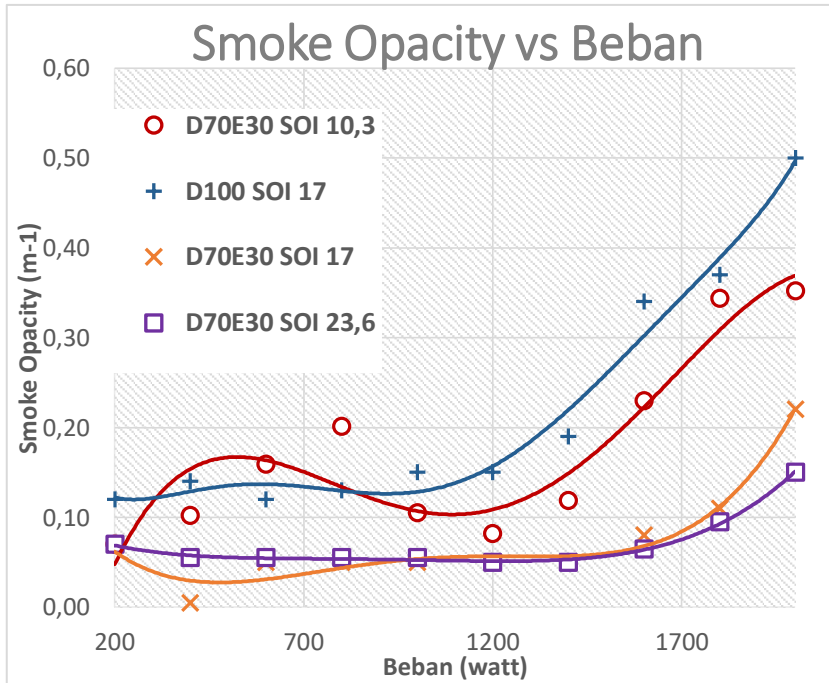


**Gambar 4. 33** Grafik *Smoke Opacity* terhadap beban dengan variasi *Start of Injection (SOI)* bahan bakar D80E20 dan D70E30





**Gambar 4. 34** Grafik *Smoke Opacity* terhadap beban dengan variasi *Start of Injection (SOI)* bahan bakar D80E20



**Gambar 4. 35** Grafik *Smoke Opacity* terhadap beban dengan variasi *Start of Injection (SOI)* bahan bakar D70E30

Dari gambar 4.32, 4.33 dan 4.34 dapat dilihat grafik yang menunjukkan *Smoke Opacity* yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran semua bahan bakar D80E20 da D70E30 terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine* dengan variasi *Start of Injection (SOI)*. *Smoke Opacity* adalah tingkat ketebalan asap yang dihasilkan oleh *engine*. Asap ini adalah bentuk padatan atau butiran karbon yang tercampur kedalam *exhaust gas* dan merupakan hasil dari proses pembakaran yang tidak sempurna.

Dari grafik terlihat bahwa, untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 dengan *Start of Injection (SOI)* Advance 23,6° BTDC

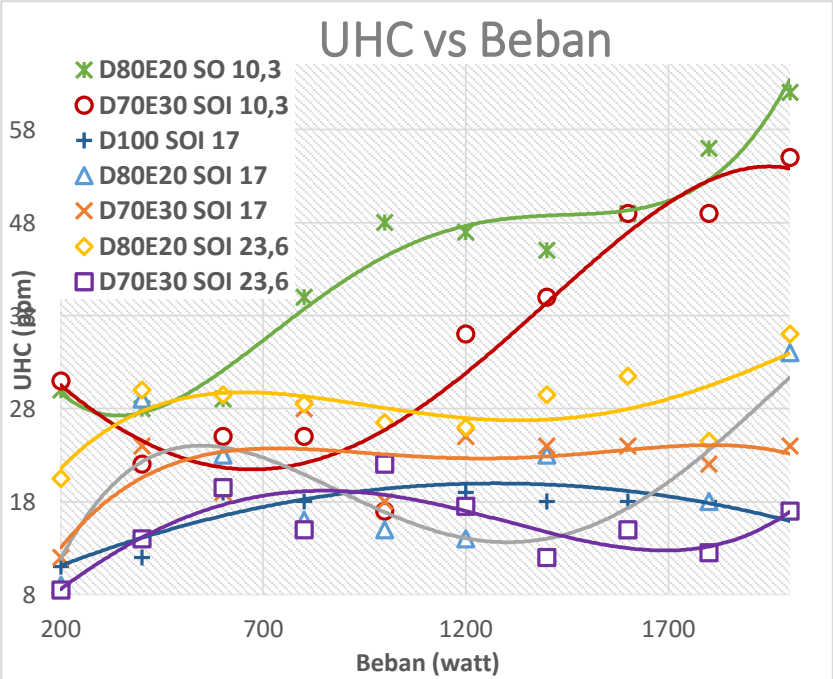
menghasilkan kadar partikulat atau *Smoke Opacity* yang relatif lebih kecil dari kondisi *Start of Injection (SOI) Standart 17° BTDC*. Sedangkan dengan *Start of Injection (SOI) Retard 10,3° BTDC*, menghasilkan kadar partikulat yang lebih tinggi dari kondisi *Start of Injection (SOI) Standart 17° BTDC*. Pada bahan bakar D80E20, nilai *Smoke Opacity* berkurang. Pada kondisi SOI *Advance* dan SOI Standart, nilai *Smoke Opacity* berkurang sebesar 26% dan 11% dari *Smoke Opacity* yang dihasilkan bahan bakar D100 pada kondisi SOI standart. Sedangkan pada kondisi SOI Retard, *Smoke Opacity* meningkat 38% dari D100 kondisi SOI Standart. Untuk bahan bakar D70E30, *Smoke Opacity* berkurang pada kondisi SOI *Advance* dan SOI Standart sebesar 49% dan 46% dari *Smoke Opacity* yang dihasilkan bahan bakar D100 kondisi SOI standart.

Pada **kondisi SOI Advance 23,6° BTDC**, *Smoke Opacity* untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 menghasilkan kadar yang lebih rendah dari kondisi timing injeksi SOI Standart 17° BTDC. Hal ini karena adanya pembakaran yang lebih baik dan efisien sehingga menghasilkan panas yang lebih besar. Akibatnya, dengan pembakaran yang lebih sempurna ini, jelaga yang dihasilkan lebih sedikit.

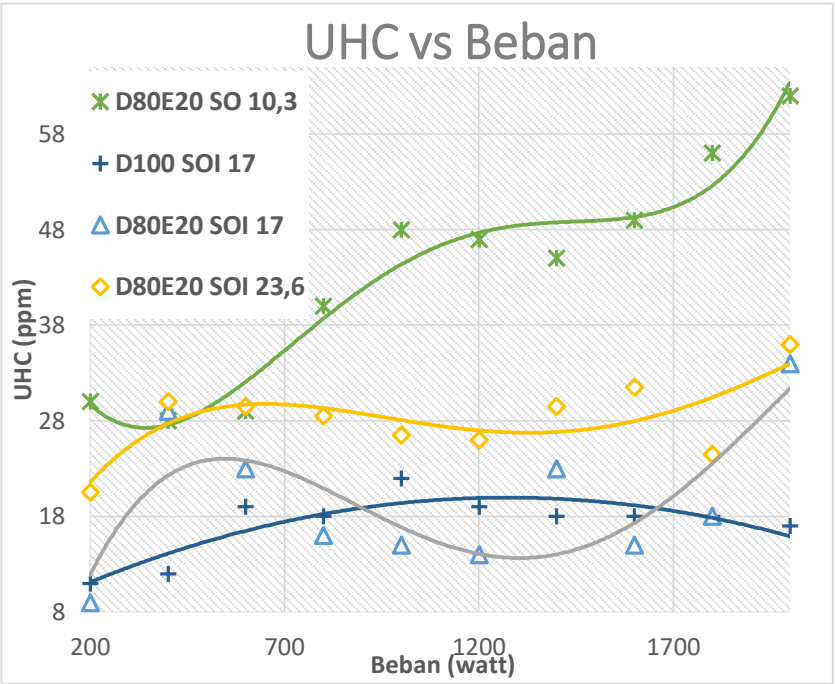
Pada **kondisi SOI Retard 10,3° BTDC**, *Smoke Opacity* relatif lebih tinggi dari kondisi timing injeksi SOI Standart 17° BTDC untuk kedua jenis bahan bakar D80E20 dan D70E30. Hal ini karena pada kondisi *Retard 10,3° BTDC* bahan bakar terbakar secara kurang sempurna dan efisien sehingga menghasilkan karbon dari senyawa Dexlite-Etanol tidak semuanya terbakar.

4.4.8 *Unburnt Hydrocarbon (UHC)*

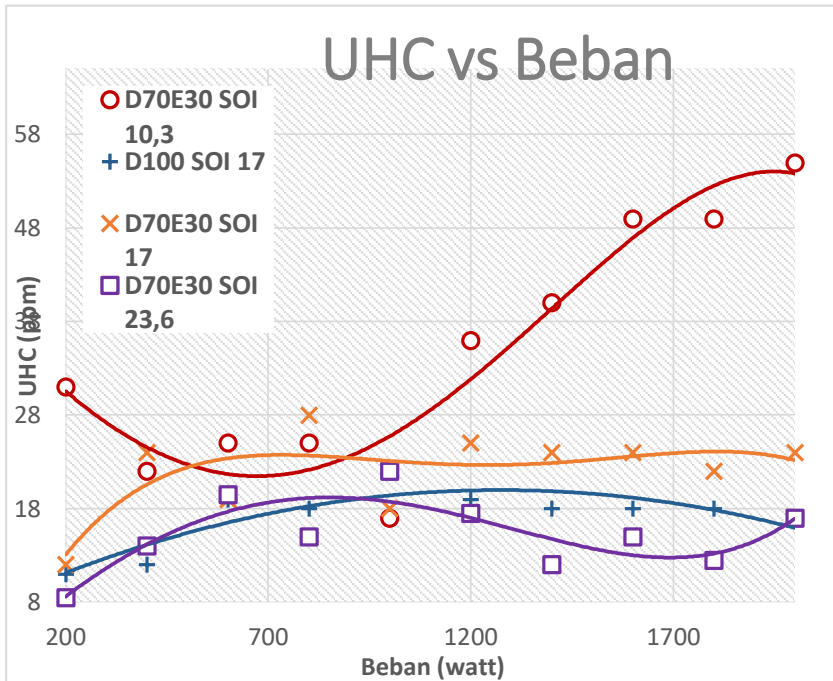
Kadar *Unburnt Hydrocarbon* yang dihasilkan *engine* dengan variasi *start of injection*, ditunjukkan pada gambar 4.36, 4.37 dan 4.38.



**Gambar 4. 36** Grafik *Unburnt Hydrocarbon (UHC)* terhadap beban dengan variasi *Start of Injection (SOI)* bahan bakar D80E20 dan D70E30



**Gambar 4. 37** Grafik *Unburnt Hydrocarbon* (UHC) terhadap beban dengan variasi *Start of Injection* (SOI) bahan bakar D80E20



**Gambar 4. 38** Grafik *Unburnt Hydrocarbon (UHC)* terhadap beban dengan variasi *Start of Injection (SOI)* bahan bakar D70E30

Dari gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar *Unburnt Hydrocarbon* dalam ppm yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran jenis bahan bakar D80E20 dan D70E30 terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine* dengan variasi *Start of Injection (SOI)*. *Unburnt Hydrocarbon* adalah gas yang terbentuk karena pembakaran dengan yang tidak sempurna.

Kadar *Unburnt Hydrocarbon* untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 cenderung fluktuatif. *Engine* berbahan-bakar D80E20 menghasilkan kadar UHC tertinggi pada kondisi *Start of Injection*

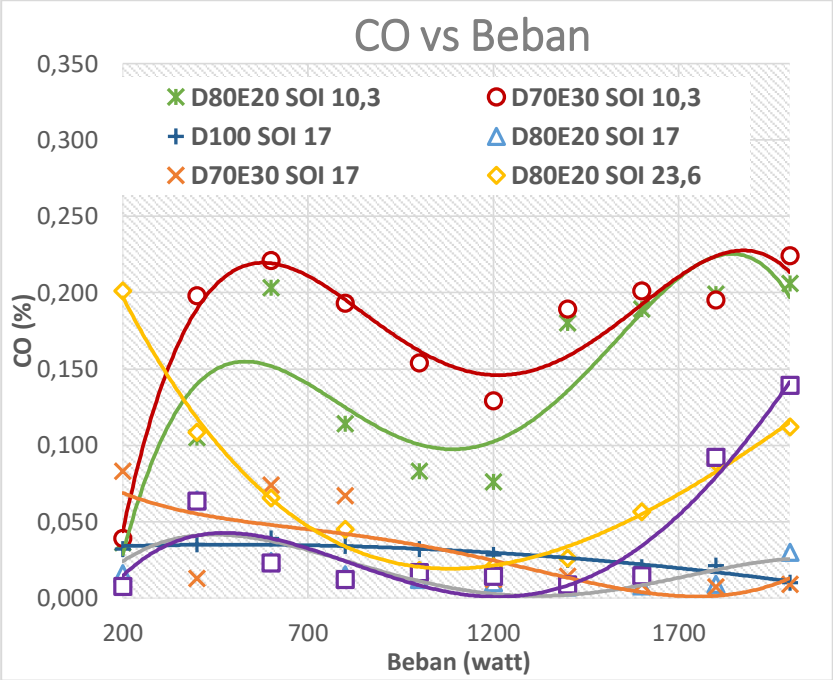
(*SOI Retard* 10,3° BTDC. Sedangkan untuk bahan bakar D70E30, kadar UHC tertinggi juga dihasilkan oleh *engine* dengan kondisi *Start of Injection (SOI Retard* 10,3° BTDC. Apabila dibandingkan dengan bahan bakar D100 *setting SOI standart*, untuk bahan bakar D80E20, kadar UHC pada *setting SOI Advance* dan *Standart* menurun sebesar 7,1% dan 35%, pada *setting SOI Retard*, kadar UHC meningkat sebesar 42%. Sedangkan bahan bakar D70E30, Kadar UHC menurun pada *setting SOI Advance* dan *Standart* menurun sebesar 49% dan 27%, dan pada *setting SOI Retard*, UHC meningkat 27%.

Pada **kondisi *SOI Advance* 23,6° BTDC**, Kadar UHC untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 menghasilkan kadar yang lebih rendah dari kondisi timing injeksi *SOI Retard* 17° BTDC. Hal ini karena adanya pembakaran yang lebih baik dan efisien sehingga menghasilkan panas yang lebih besar. Akibatnya, dengan pembakaran yang lebih sempurna ini, HC yang dihasilkan lebih sedikit.

Pada **kondisi *SOI Retard* 10,3° BTDC**, Kadar UHC relatif lebih tinggi dari kondisi timing injeksi *SOI Standart* 17° BTDC untuk kedua jenis bahan bakar D8020 dan D7030. Hal ini karena pada kondisi *Retard* 10,3° BTDC bahan bakar terbakar secara kurang sempurna dan efisien sehingga menghasilkan HC dari senyawa Dexlite-Etanol tidak semuanya terbakar.

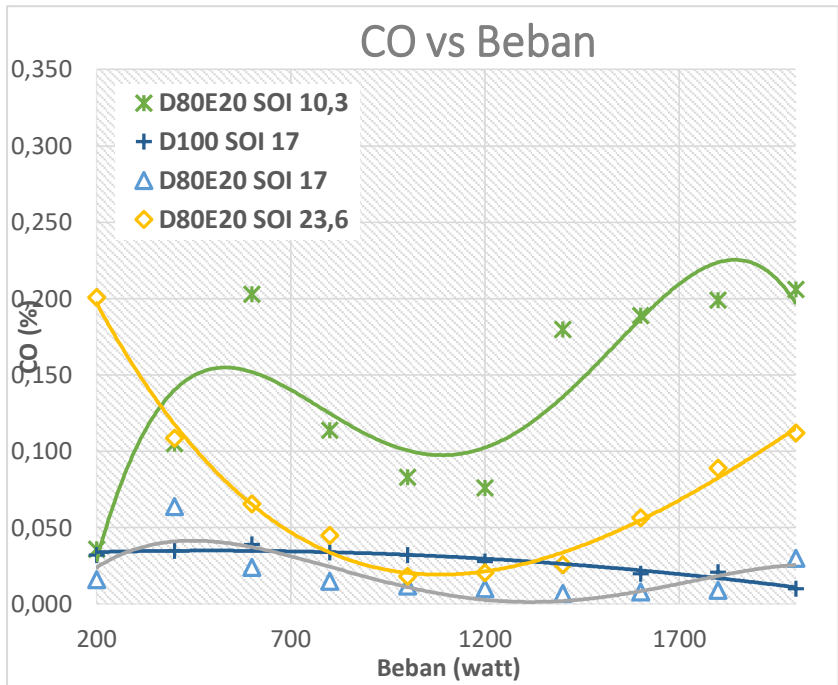
4.4.9 *Kadar CO*

Kadar *CO* yang dihasilkan *engine* dengan variasi *start of injection*, ditunjukkan pada gambar 4.39, 4.40 dan 4.41.

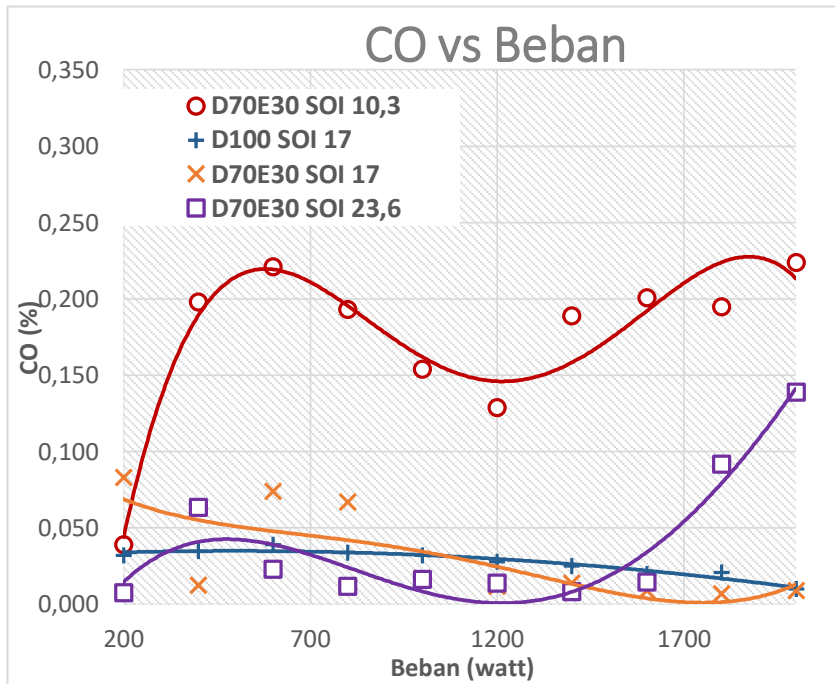


**Gambar 4. 39** Grafik Kadar CO terhadap beban dengan variasi *Start of Injection (SOI)* bahan bakar D80E20 dan D70E30





**Gambar 4. 40** Grafik Kadar CO terhadap beban dengan variasi *Start of Injection (SOI)* bahan bakar D80E20



**Gambar 4. 41** Grafik Kadar CO terhadap beban dengan variasi *Start of Injection (SOI)* bahan bakar D70E30

Dari gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan kadar CO dalam ppm yang didapatkan pada *exhaust gas* yang dihasilkan dari pembakaran jenis bahan bakar D80E20 dan D70E30 terhadap beban kerja yang diberikan kepada *engine* dengan variasi *Start of Injection (SOI)*. CO adalah gas yang terbentuk karena pembakaran dengan kadar oksigen yang terbatas dan terjadi pada suhu yang rendah.

Kadar CO untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 cenderung fluktuatif. *Engine* berbahan-bakar D80E20 dan D70E30 menghasilkan kadar CO tertinggi pada kondisi *Start of Injection (SOI) Retard* 10.3° BTDC. Sedangkan untuk kadar CO minimal

dihasilkan oleh *engine* dengan bahan bakar D80E20 dengan kondisi *Start of Injection (SOI) Standart* 17° BTDC. Selain itu kadar CO minimal untuk *engine* berbahan bakar D70E30 dihasilkan pada kondisi *Start of Injection (SOI) Advance* 23,6° BTDC. Apabila dibandingkan dengan kadar CO yang dihasilkan bahan bakar D100 pada *setting SOI Standart*, untuk bahan bakar D80E20, pada *setting SOI Advance* dan *Standart*, kadar Co menurun sebesar 4,3% dan 74%, dan meingkat 79% pada *setting SOI Retard*. Sedangkan pada bahan bakar D70E30, kadar CO menurun pada *seting SOI Advance* dan *standart* sebesar 49% dan 60% dan meingkat pada *setting SOI Retard* sebesar 79%.

Pada **kondisi SOI Advance 23,6° BTDC**, Kadar CO untuk bahan bakar D80E20 dan D70E30 menghasilkan kadar yang lebih rendah dari kondisi timing injeksi *SOI Retard* 17° BTDC. Hal ini karena AFR yang dikonsumsi *engine* relatif tinggi atau campuran bahan bakar miskin. Sehingga pembakaran terjadi dengan kadar oksigen yang mencukupi. Selain itu, temperatur *engine* yang relatif tinggi juga mendukung karbon dan oksigen untuk berikatan membentuk CO<sub>2</sub>.

Pada **kondisi SOI Retard 10,3° BTDC**, Kadar CO relatif lebih tinggi dari kondisi timing injeksi *SOI Advance* 23,6° BTDC dan *Standart* 17° BTDC. untuk kedua jenis bahan bakar D8020 dan D7030. Hal ini karena pada kondisi *Retard* 10,3° BTDC, AFR yang dikonsumsi *engine* relatif lebih rendah, atau campuran yang lebih kaya. Sehingga kadar oksigen tidak sebanding dengan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Hal ini mengakibatkan terbentuknya CO, karena karbon tidak mendapatkan asupan oksigen yang cukup untuk membentuk CO<sub>2</sub>.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan penggunaan bahan bakar D80E20 pada Mesin Diesel dengan *Start of Injection* Standart 17° BTDC didapatkan **perbaikan** unjuk kerja dan emisi gas buang dibanding dengan penggunaan bahan bakar D100 dengan *Start of Injection* Standart 17° BTDC, diantaranya parameter, *Smoke Opacity* dan kadar CO dengan besar masing-masing 44% dan 29%. Sedangkan **penurunan** unjuk kerja dan emisi gas buang ditunjukkan pada parameter *Specific Fuel Consumption*, Efisiensi Thermal, Daya, Torsi, BMEP, dan kadar UHC dengan besar masing-masing 15%, 0,3%, 0,3%, 0,3%, 0,3%, dan 13,9%.
2. Penggunaan bahan bakar D80E20 dengan *Start of Injection Advance* 23,6° BTDC didapatkan **perbaikan** unjuk kerja dan emisi gas buang dibanding dengan penggunaan bahan bakar D80E20 dengan *Start of Injection* Standart 17° BTDC, yaitu parameter Efisiensi Thermal, dan *Smoke Opacity* dengan besar masing-masing 4,4% dan 16%. Sedangkan **penurunan** unjuk kerja dan emisi gas buang ditunjukkan pada parameter, Daya, Torsi, BMEP, *Specific Fuel Consumption*, kadar UHC dan kadar CO dengan besar masing-masing 1,5%, 1,5%, 1,5%, 0,5%, 44% dan 280%.
3. Penggunaan bahan bakar D80E20 dengan *Start of Injection Retard* 10,3° BTDC, **tidak didapatkan perbaikan** unjuk kerja dan emisi gas buang dibanding dengan penggunaan bahan bakar D80E20 dengan *Start of Injection* Standart 17° BTDC. Sedangkan **penurunan** unjuk kerja dan emisi gas buang ditunjukkan pada semua

parameter, yaitu, Daya, Torsi, BMEP, *Specific Fuel Consumption*, Efisiensi Thermal, *Smoke Opacity*, kadar UHC dan kadar CO dengan besar masing-masing 2,4%, 2,4%, 2,4%, 8,8%, 5,8%, 57%, 121% dan 613%.

4. Dengan penggunaan bahan bakar D70E30 pada Mesin Diesel dengan *Start of Injection* Standart 17° BTDC didapatkan **perbaikan** unjuk kerja dan emisi gas buang dibanding dengan penggunaan bahan bakar D100 dengan *Start of Injection* Standart 17° BTDC, diantaranya parameter, *Smoke Opacity* dengan besar 66,7%. Sedangkan **penurunan** unjuk kerja dan emisi gas buang ditunjukkan pada parameter Daya, Torsi, BMEP, *Specific Fuel Consumption*, Efisiensi Thermal, kadar UHC dan kadar CO dengan besar masing-masing 2,7%, 2,7%, 2,7%, 26%, 2,7%, 27%, dan 10%.
5. Penggunaan bahan bakar D70E30 dengan *Start of Injection Advance* 23,6° BTDC didapatkan **perbaikan** unjuk kerja dan emisi gas buang dibanding dengan penggunaan bahan bakar D70E30 dengan *Start of Injection* Standart 17° BTDC, yaitu parameter Daya, Torsi, BMEP, *Specific Fuel Consumption*, Efisiensi Thermal, *Smoke Opacity* dan kadar UHC dengan besar masing-masing 5,8%, 5,8%, 5,8%, 17%, 13,3%, 4,7% dan 30%. Sedangkan **penurunan** unjuk kerja dan emisi gas buang ditunjukkan pada parameter, kadar CO dengan besar 28%
6. Penggunaan bahan bakar D70E30 dengan *Start of Injection Retard* 10,3° BTDC, didapatkan **perbaikan** unjuk kerja dan emisi gas buang dibanding dengan penggunaan bahan bakar D70E30 dengan *Start of Injection* Standart 17° BTDC, yaitu parameter Daya, Torsi dan BMEP dengan besar masing-masing 0,4%, 0,4% dan 0,4%. Sedangkan **penurunan** unjuk kerja dan emisi gas buang ditunjukkan pada parameter, yaitu, *Specific Fuel Consumption*, Efisiensi Thermal, *Smoke Opacity*, kadar

UHC, dan kadar CO dengan besar masing-masing 1,6%, 3,4%, 140%, 58% dan 470%.

## 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran, antara lain:

1. Pengujian unjuk kerja dan emisi gas buang akan mendapatkan hasil yang akurat apabila menggunakan alat *pressure transducer*, sehingga diketahui secara jelas proses pembakaran dengan indikasi *pressure* yang ditampilkan.
2. Engine Diesel Yanmar TF 55 R, sebaiknya dilakukan service berat untuk mengganti *liner* pada ruang bakar, sehingga *losses* kompresi dapat diminimalisir.
3. Gunakan bahan kimia, emulgator yang lebih baik agar campuran bahan bakar dapat tercampur secara homogen, dan separasi yang terjadi lebih lama terjadi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Praptijanto, Ahmad., Muharam, Aam., Nur, Arifin., Putrasari, Yanuandri. 2014. *Effect of Ethanol Percentage for Diesel Engine Performace Using Virtual Engine Simulation Tool. 2<sup>nd</sup> International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application, ICSEEA 2014.*
- [2] Mofijur, M., Rasul, M.G., Hyde, J. 2014. *Recent Developments on Internal Combution Engine Performace and Emission Fuelled with Biodiesel-Diesel-Ethanol Blends. 6<sup>th</sup> BSME International Conference on Thermal Engineering (ICTE 2014).*
- [3] Prbakaran, B., Viswanathan, Dinoop. 2016. *Experimental Investigation of Efeects of Addition of Ethanol to Bio-Diesel on Performance, Combution and Emission Characterisic in CI Engine.* Hindustan Institute of Techology and Science, India.
- [4] Putrasari, Yanuandri., Arifin, Nur., Muharam, Aam., 2012. *Performance and Emission Characteristic on a Two Cylinder DI Diesel Fuelled with Ethanol-Diesel Blends. International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application.*
- [5] Murcak, Ahmet., Hasimoglu, Can., Cevic, Ismet., Kahraman, Huseyin., 2014. *Effect of Injection Timing to Performance of a Diesel Engine Fuelled with Different Diesel-Ethanol Mixture. Sakarya University, Turkey.*
- [6] Kawano, D. Sungkono. 2014. *Motor Bakar Torak (Diesel).* Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.

- [7] Nasution, A.S. 2010. *Proses Pembuatan Bahan Bakar Bensin dan Solar Ramah Lingkungan*, Pusat penelitian dan pengembangan teknologi minyak dan gas bumi, Jakarta.
- [8] <https://id.wikipedia.org/wiki/Dexlite> diakses pada 1 April 2017.
- [9] Zuhdi, M.F.A. 2003. *Biodiesel Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil Pada Motor Diesel*. Riset Unggulan Terpadu VIII Bidang Tekonologi Energi, Surabaya.
- [10] Rini, D.M. 2012. “Emulsi” <http://www.scribd.com/doc/77536590/EmulsiAdalah-Campuran-Antara-Partikel>
- [11] Alfian, M.P. 2008. “Emulsifikasi”. Laporan Praktikum, Laboratorium Framaseutika, Fakultas Farmasi Universitas Hasanuddin, Makassar.  
[http://www.academia.edu/11798506/Laporan\\_Praktikum\\_Farmasi\\_Fisika\\_Emulsifikasi](http://www.academia.edu/11798506/Laporan_Praktikum_Farmasi_Fisika_Emulsifikasi)
- [12] Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine*, Mc.Graw Hill, London.
- [13] [https://id.wikipedia.org/wiki/Dietil\\_eter](https://id.wikipedia.org/wiki/Dietil_eter) diakses pada 18 Mei 2017
- [14] Ramli, Nurmiati. 2013. “Emulsifikasi” Laporan Praktikum Farmaseutika, Fakultas Farmasi, Universitas Muslim Indonesia, Makassar.
- [15] [https://id.wikipedia.org/wiki/Efek\\_rumah\\_kaca](https://id.wikipedia.org/wiki/Efek_rumah_kaca) diakses pada 2 Juni 2017
- [16] Isnaini, Yusuf. 2013. Analisa Performa Motor Diesel Berbahan Bakar Komposisi Campuran Antara Minyak Tuak

dengan Minyak Diesel, Jurnal Teknik Sistem Perkapalan, Surabaya.

- [17] Wei, Mingrui. 2017. *Effect of Injection Timing on Combustion and Emissions in a Diesel Engine Fueled with 2,5-Dimethylfuran-Diesel Blends*. Hubei Collaborative Innovation Center for Automotive Component Technology, Wuhan University of Technology, China.
- [18] Sayin, Cenk. 2009. *Effects of Injection Timing on the Engine Performance and Exhaust Emissions of Dual-Fuel Diesel Engine*. Marmara University, Istanbul, Turkey.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

## RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Qorry Angga Ramadhany, dilahirkan di Lahat, Sumatera Selatan pada 10 September 1995. Merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar pada tahun 2001-2006 di SDN 12 Lahat, pendidikan sekolah menengah pertama pada tahun 2007-2009 di SMP N 2 Lahat, lalu sekolah menengah atas pada 2010-2012 di SMA N Sumatera Selatan (Sampoerna Academy), Palembang. Lalu penulis melanjutkan pendidikan yang lebih tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dengan Departemen Teknik Mesin bidang studi Konversi Energi.

Selama berkuliah di Kampus Perjuangan ITS, penulis telah aktif di Organisasi Keprofesian Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin (LBMM-ITS). Penulis adalah staff divisi, ketua divisi Hubungan Luar serta Sekretaris LBMM-ITS pada tahun 2014, 2015 dan 2016. Penulis aktif dalam riset dan pembelajaran bidang Konversi Energi serta tergabung ke dalam Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi.

